

CORPORACION DE INVESTIGACION DE LA CONSTRUCCION

CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCION

COMITE DE DISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

DRENABILIDAD Y TIEMPOS DE SATURACION PARA BASES DE PAVIMENTOS

LUIS ERAZO N. & ASOCIADOS LTDA.

Ingenieros Consultores

CAMARA CHILENA DE
LA CONSTRUCCION
Centro Documentación

Abril de 1994



Ingenieros Consultores.

&
ASOCIADOS

RAFAEL CAÑAS 84 - FONOS: 2360501 - 2353191 - FAX: 2352486 - SANTIAGO - CHILE

625.734
CCHC.
T46
c.1

- 2884 -

CAMARA CHILENA DE
LA CONSTRUCCION
Centro Documentación

CORPORACION DE INVESTIGACION DE LA CONSTRUCCION

CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCION

COMITE DE DISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

DRENABILIDAD Y TIEMPOS DE SATURACION PARA BASES DE PAVIMENTOS

LUIS ERAZO N. & ASOCIADOS LTDA.

Ingenieros Consultores

Abril de 1994

INDICE

	PAG.
I. INTRODUCCION	1
II. CALCULO DEL COEFICIENTE DE DRENAJE	4
2.1. Generalidades.	4
2.2. Calidad del Drenaje.	5
2.3. Tiempo de Saturación.	10
2.4. Ejemplo de Cálculo del Coeficiente de Drenaje	17
2.5. Tablas: Precipitación Media Anual para Diversas Estaciones	19
 ANEXO I : CALIDAD DEL DRENAJE	
 ANEXO II : TIEMPO DE SATURACION	
 ANEXO III : INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE DRENAJE EN LOS ESPESORES DE DISEÑO	
 REFERENCIAS	

DRENABILIDAD Y TIEMPOS DE SATURACION PARA BASES DE PAVIMENTOS

I. INTRODUCCION

El método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) para diseñar pavimentos incorpora, a partir de la versión de 1986, las características del drenaje de la estructura en el comportamiento de los pavimentos.

Este efecto se expresa modificando el coeficiente estructural de las capas no ligadas de los pavimentos flexibles, y el espesor en los pavimentos rígidos, para lo cual interviene el factor denominado **Coficiente de Drenaje**, determinado en función de:

- **Tiempo de Drenaje (T_{50}):** Período que requiere una determinada estructura en drenar el 50% del agua libre a partir de un estado 100% saturado. La **Calidad del Drenaje** se define para rangos del tiempo de drenaje.
- **Tiempo de Saturación:** Porcentaje de tiempo de la vida útil durante el cual se prevé que la estructura se encontrará con niveles de humedad cercanos a la saturación (humedad igual o mayor al 50% del agua libre de saturación).

En los pavimentos flexibles, el coeficiente de drenaje que modifica el coeficiente estructural de capas no ligadas se denota por " m_i " y está incorporado en la ecuación que determina el número estructural (SN) en conjunto con el coeficiente estructural de la capa (a_i) y su espesor (D_i). De esta forma:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

En los pavimentos rígidos, el coeficiente de drenaje " C_d " modifica directamente el espesor de éste, al afectar la resistencia a la flexotracción del hormigón.

Para efectos de comparación, tanto a m_i como a C_d , se les asignó el valor 1,0 en las condiciones de drenaje y clima prevaleciente donde se efectuó la Prueba AASHTO. Allí el tiempo de saturación fue del 5% y el tiempo de drenaje de 1 semana, lo que se definió como calidad de drenaje "regular".

Tanto por diferencias estructurales como climatológicas, resulta evidente la necesidad de adaptar la metodología (propuesta por AASHTO) para calcular los coeficientes de drenaje, a las condiciones particulares imperantes en el país. Con ese objetivo se desarrolló el presente estudio basado, en general, en las hipótesis y consideraciones señaladas en la Guía AASHTO, salvo por los siguientes aspectos:

- El tiempo de drenaje se establece mediante un modelo con régimen impermanente con evacuación tanto horizontal como vertical del agua libre existente. (la Guía AASHTO sólo considera evacuación horizontal en un modelo con régimen permanente).
- Aún cuando la permeabilidad (K) de un suelo, es extremadamente sensible a algunas propiedades del material, en especial la cantidad y tipo de finos (porcentaje que pasa por el tamiz de 0,08 mm) presentes en él, se entrega un rango de valores para las bandas granulométricas más frecuentemente especificadas para las bases y sub-bases de los pavimentos chilenos (Ref. 7).
- Se caracterizan las precipitaciones del país, modelando su distribución y frecuencia para 6 zonas diferentes que abarcan desde la IV a la XII Región. En función de las precipitaciones, la infiltración y el tiempo de drenaje, se establece el tiempo de saturación por medio de una modelación dinámica de los caudales que entran y salen de la base.

Para facilitar el uso de la información contenida en el estudio, éste se presenta dividido de la siguiente forma:

- **Cálculo del Coeficiente de Drenaje**

Se expone el procedimiento establecido en el estudio para determinar los coeficientes de drenaje, m_i para pavimentos flexibles y C_d , para los rígidos. Ello se realiza mediante gráficos que permiten establecer el tiempo de drenaje en función de las características de la estructura y de las permeabilidades de la base y sub-rasante, así como el tiempo de saturación para diferentes zonas del país, en función de la precipitación media anual y del tiempo de drenaje.

- **Anexo I, Calidad del Drenaje**

Se describe el modelo implementado para determinar el tiempo de drenaje que establece la Calidad del Drenaje según rangos de valores definidos por AASHTO. Además, se entregan las hipótesis, análisis y simplificaciones utilizadas para obtener los gráficos finales.

- **Anexo II, Tiempo de Saturación**

Se describen los procedimientos seguidos para relacionar las precipitaciones medias anuales que se presentan a lo largo del país, con el porcentaje de tiempo del año que una determinada base permanecerá con una humedad cercana a la de saturación. Además, se presenta el cálculo de la infiltración a partir de un método empírico propuesto por AASHTO y la modelación de las características de la estructura a partir del tiempo de drenaje (T_{50}).

- **Anexo III, Influencia del Coeficiente de Drenaje en los Espesores de Diseño.**

Se analiza, mediante la sensibilización de los parámetros que afectan el coeficiente de drenaje, cuál es la influencia de éste en los espesores de diseño.

II.- CALCULO DEL COEFICIENTE DE DRENAJE

2.1 Generalidades

El método de diseño AASHTO (Ref. 1 y Ref. 11) tiene en consideración la influencia de la calidad del drenaje y las características de las precipitaciones en el comportamiento del pavimento, al tratar el efecto de la humedad en las propiedades de los materiales que conforman las diferentes capas del pavimento y, consecuentemente, su capacidad estructural. Este efecto queda expresado en los coeficientes de drenaje C_d y m_i (para los pavimentos rígidos y flexibles, respectivamente), los que se determinan en función de la calidad del drenaje y del porcentaje de tiempo en que las bases están expuestas a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Las Tablas N° 1 y N° 2 muestran los coeficientes de drenaje propuestos en el Método AASHTO (Ref. 1). A estas Tablas se ingresa en forma discreta por la "Calidad del Drenaje" y en forma continua (interpolando) en función del "Tiempo de Saturación".

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN QUE LA ESTRUCTURA ESTA EXPUESTA A NIVELES DE HUMEDAD CERCANOS A LA SATURACION.			
	< 1 %	1 - 5%	5 - 25%	> 25 %
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Muy Pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

TABLA N° 1. C_d para pavimentos rígidos. (Fuente: Ref. 1)

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN QUE LA ESTRUCTURA ESTA EXPUESTA A NIVELES DE HUMEDAD CERCANOS A LA SATURACION.			
	< 1 %	1 - 5%	5 - 25%	> 25 %
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy Pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

TABLA N° 2. m_i para pavimentos flexibles. (Fuente: Ref. 1)

2.2 CALIDAD DEL DRENAJE

La "Calidad del Drenaje" queda definida por el tiempo que demora una base en drenar el 50% del agua libre de saturación, es decir, del tiempo durante el cual permanece con niveles de humedad cercanos a la saturación (T_{50}).

La Tabla N° 3, muestra la calificación de la "Calidad del Drenaje" sugerida por AASHTO.

CALIDAD DEL DRENAJE	T_{50} CALCULADO	T_{50} RECOMENDADO
Excelente	2 - 4 horas	2 horas
Bueno	0,5 a 1 día	1 día
Regular	3 a 6 días	7 días
Malo	18 a 36 días	1 mes
Muy malo	Más de 36 días	No drena

TABLA N° 3. Relación entre Tiempo de Drenaje y Calidad del Drenaje (Fuente, Ref. 1).

En el modelo implementado en este estudio, el tiempo de drenaje (T_{50}) se establece por medio de la siguiente relación:

$$T_{50} = T_{50}' * C1 * C2 * C3 \text{ [DIAS]}$$

donde:

T_{50'} [DIAS]: Es el tiempo, expresado en días, que demora una "base tipo", en drenar el 50% del agua libre de saturación.

El Gráfico N° 1, permite determinar el T_{50'} en función de las permeabilidades de la base (y sub-base) y de la sub-rasante.

En caso de no disponer de información confiable del valor de K, este puede, en general, estimarse con la fórmula de Hazen:

$$K = C d_{10}^2 \left[\frac{cm}{s} \right]$$

d₁₀ [cm] : Diámetro por el cual pasa el 10% del material.

C : Coeficiente que varía entre 90 y 120 (aprox. 100 según Ref. 5).

Las permeabilidades de las bases que más usualmente se utilizan en el país y que se ajustan a los requisitos del LNV 102 de la Dirección de Vialidad, pueden también estimarse con el Gráfico N° 2.

La permeabilidad de diversos suelos que normalmente conforman la sub-rasante, se encuentran dentro de los valores de referencia que se indican en el propio Gráfico N° 1, de acuerdo con la Ref. 4.

C1 .. C3: Para secciones diferentes de la "sección tipo" usada para calcular el Gráfico N° 1 (cuyas características se indican en la parte superior) el T_{50'} debe modificarse, afectándolo con los factores de ajuste que se determinan de los Gráficos N° 3 al N° 5. Ellos entregan el factor de ajuste para pasar del T_{50'} de la sección tipo, al tiempo de drenaje correspondiente a la sección real que se analiza, en función de la relación entre las permeabilidades de la base (K_b) y de la sub-rasante (K_{sr}).

* Gráfico N° 3 : Factor de Ajuste para el ANCHO; C1

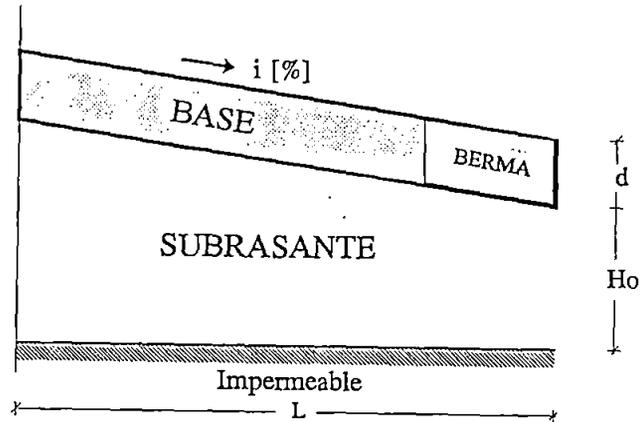
* Gráfico N° 4 : Factor de Ajuste para PENDIENTE transversal; C2

* Gráfico N° 5 : Factor de Ajuste para la ALTURA DE LA SUB-RASANTE; C3

TIEMPO DE DRENAJE -> T_{50}' [Días]

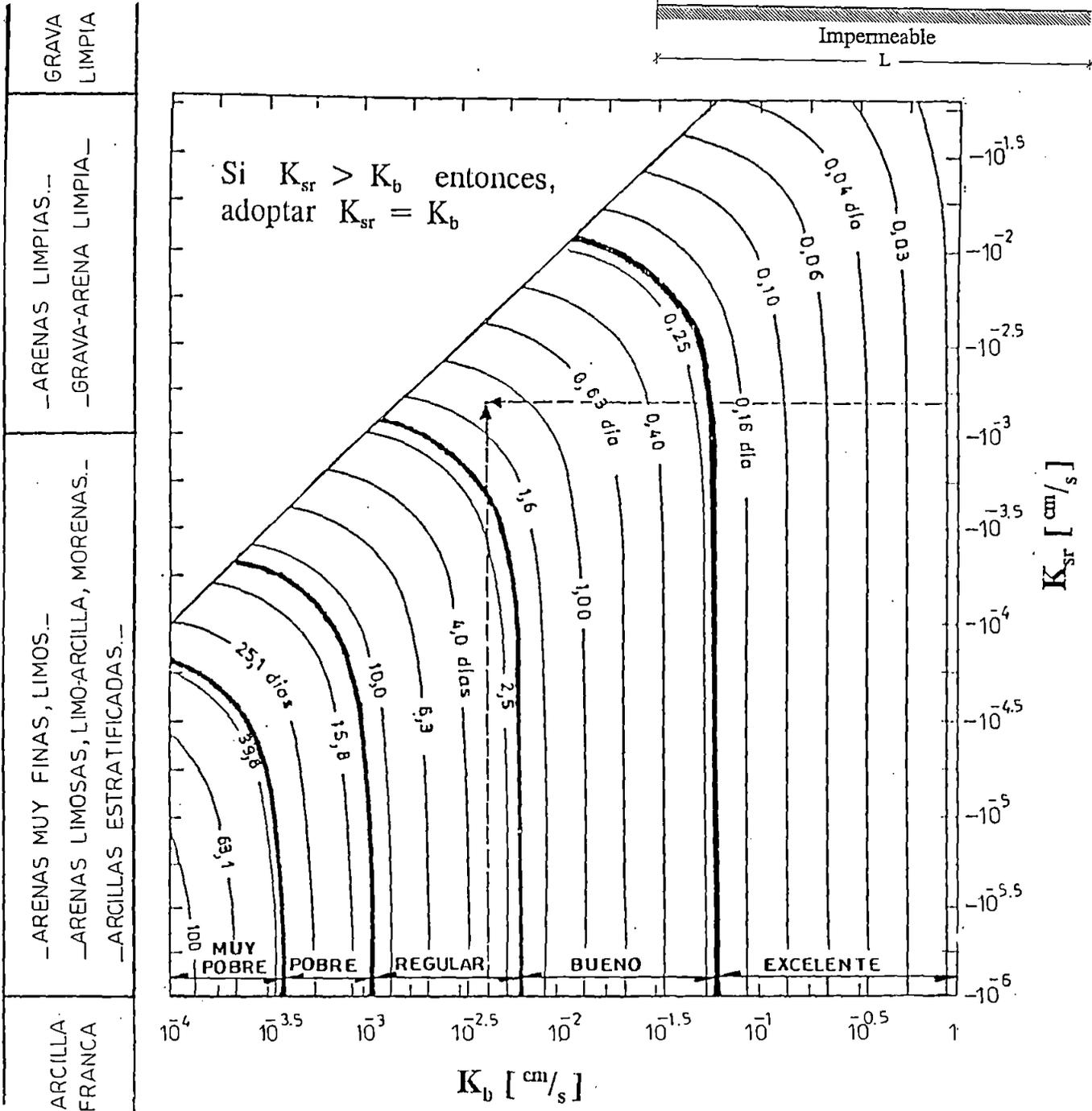
SECCION TIPO

Ancho de la Base (L)	=	6,00 m
Espesor de la Base (d)	=	0,15 m
Porosidad Cinemática (n_c)	=	12,0 %
Bombeo (i)	=	2,0 %
Altura de Subrasante (H_o)	=	0,50 m



SUB-RASANTE

PERMEABILIDAD SUB-RASANTE



PERMEABILIDAD BASE/SUB-BASE

OTROS AJUSTES: Además de las variaciones que experimenta el T_{50}' por los factores señalados antes, se analizaron otros, no incluidos por lo siguiente:

- * En estricto rigor, el T_{50}' cambia al variar el espesor de la base. Sin embargo, tal como se muestra en el Anexo I, el error que se comete al obviarlo es poco relevante, de manera que se optó por no incluirlo.
- * El Gráfico N° 1, fue calculado para una porosidad total del 15% y una porosidad cinemática (agua libre) igual al 80% de aquella, es decir 0,12. Si para una situación específica resultara una porosidad cinemática muy diferente del 0,12 utilizado en el Gráfico N° 1, el T_{50}' debe afectarse de un Factor de Ajuste adicional (C4), determinado de acuerdo con lo que se indica en el Anexo I.

*PERMEABILIDAD DE BASES Y SUB-BASES
(Bases de la Dirección de Vialidad, según LNV 102)*

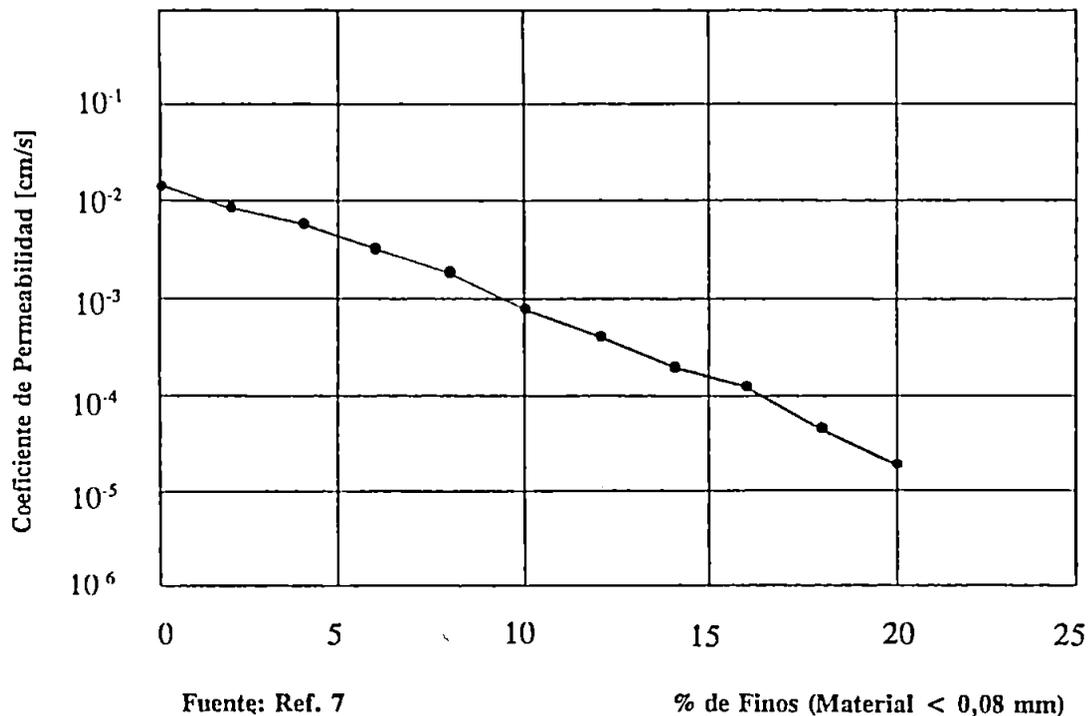


GRAFICO N° 2.

FACTOR DE AJUSTE \rightarrow C1 PARA EL ANCHO DE LA BASE

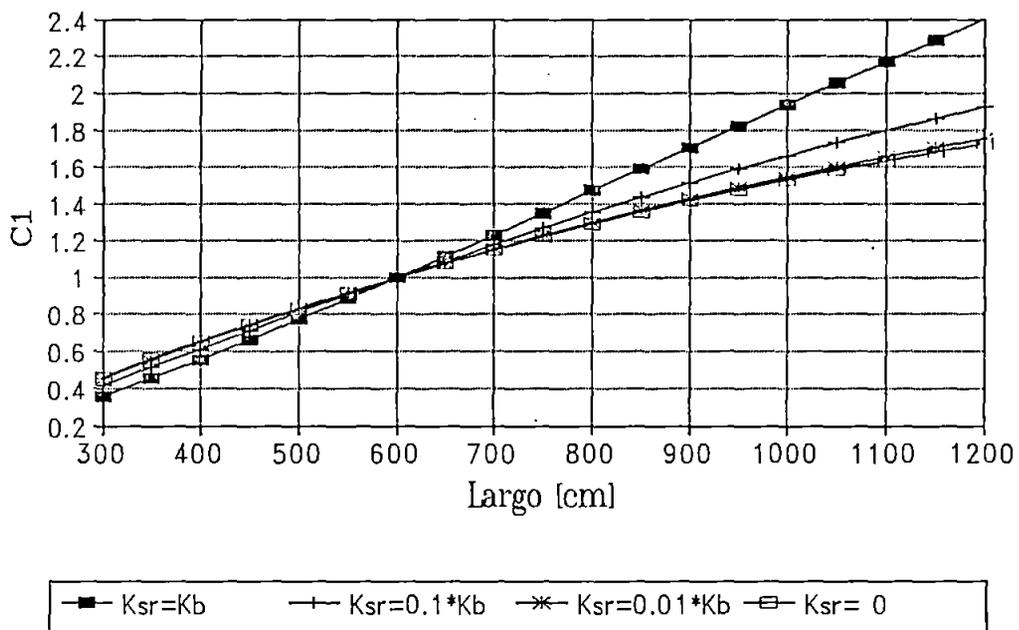


GRAFICO N° 3.

FACTOR DE AJUSTE \rightarrow C2 PARA LA PENDIENTE TRANSVERSAL

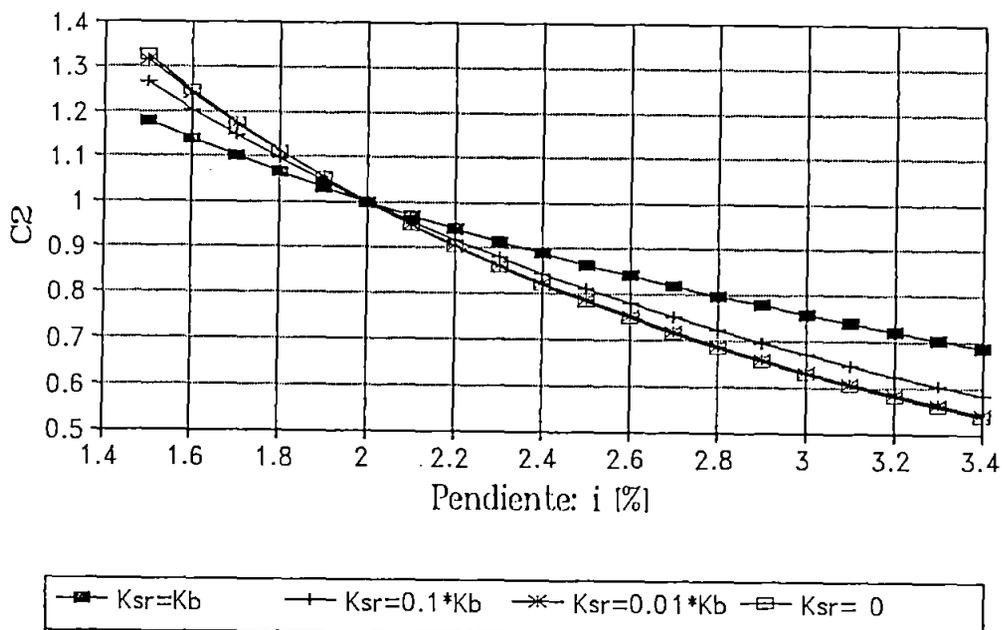


GRAFICO N° 4.

FACTOR DE AJUSTE \rightarrow C3 PARA LA ALTURA DE LA SUBRASANTE

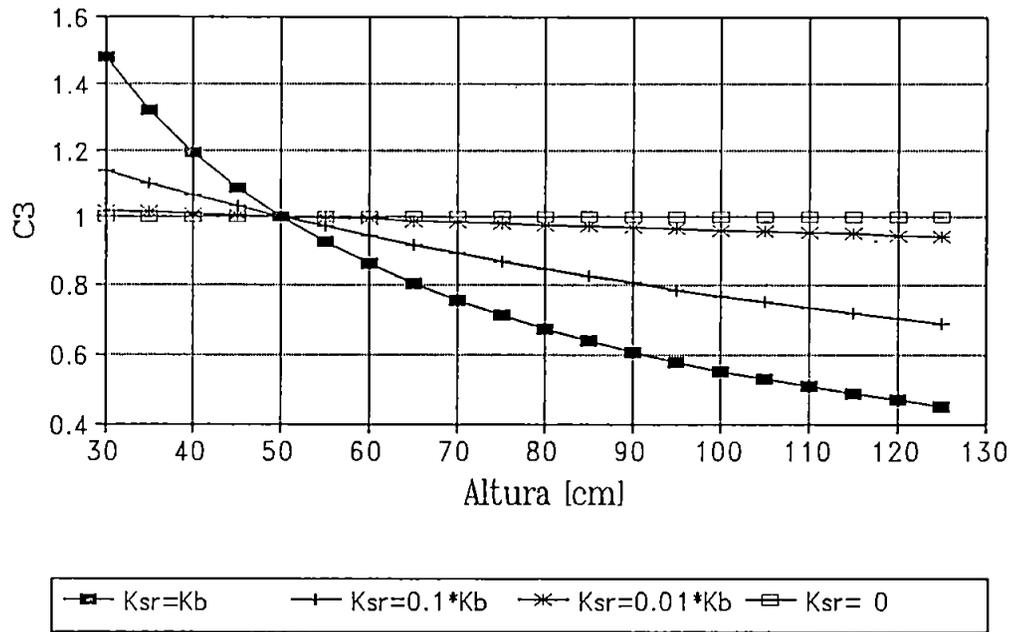


GRAFICO N° 5.

2.3 TIEMPO DE SATURACION

El tiempo que una determinada estructura de pavimento permanecerá con humedades cercanas a la saturación, es función de la drenabilidad de la base, de la tasa de infiltración del pavimento y de las características de las precipitaciones en la zona del proyecto. Todos estos factores fueron analizados y ponderados, de acuerdo con lo que se detalla en el Anexo II, Tiempo de Saturación.

El resultado de los estudios queda resumido en los 6 gráficos (Gráficos N° 6 al N° 11) que se adjuntan, donde el "tiempo de saturación" se determina a partir de 3 parámetros:

- Tiempo de Drenaje : T_{50} [días]
- Región o zona del país en que se localiza el proyecto
- Precipitación media anual [mm] característica en el área de emplazamiento del proyecto.

TIEMPO DE SATURACION IV REGION

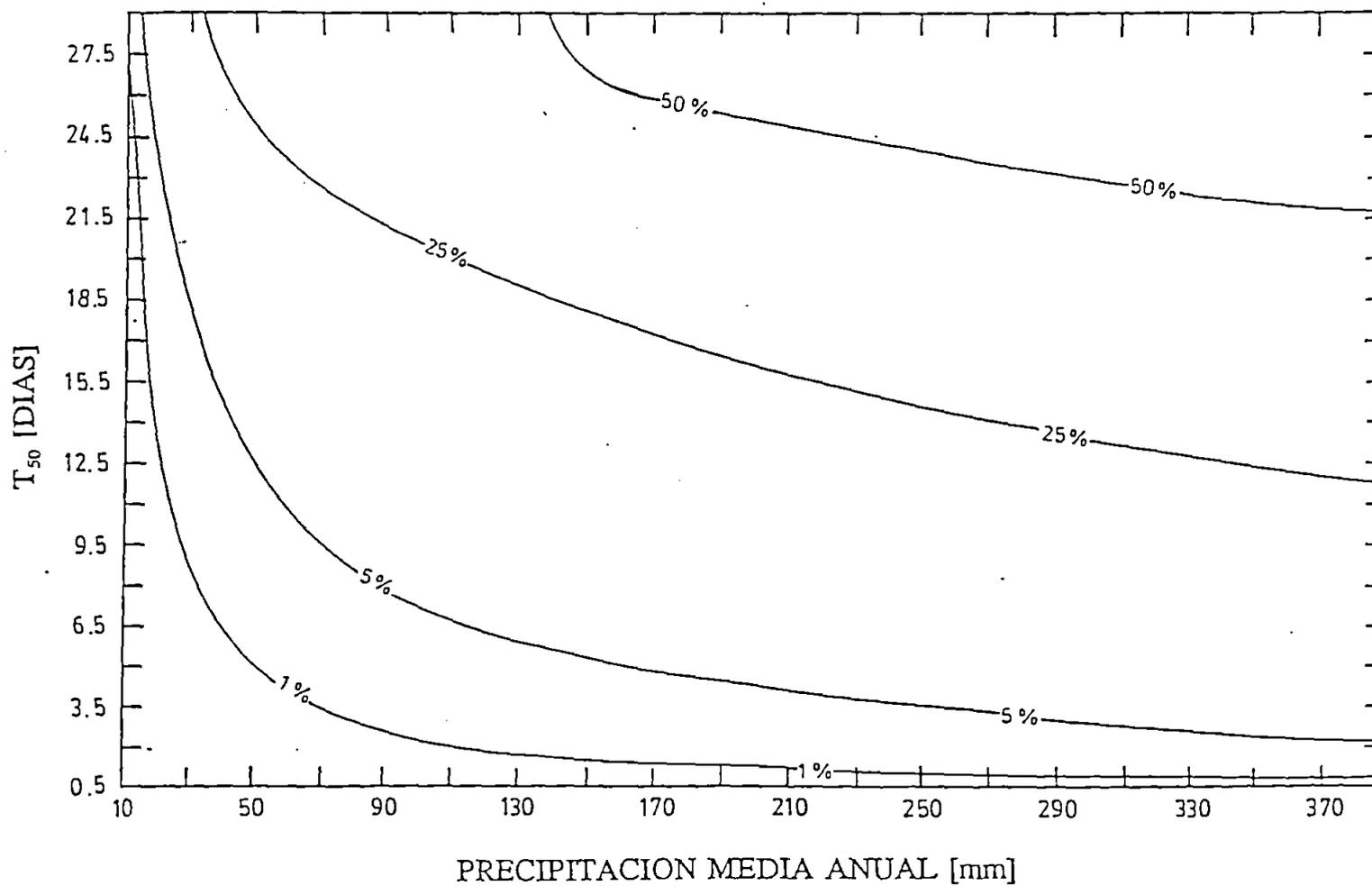


GRAFICO N° 6

TIEMPO DE SATURACION

V - A.M. - VI REGIONES

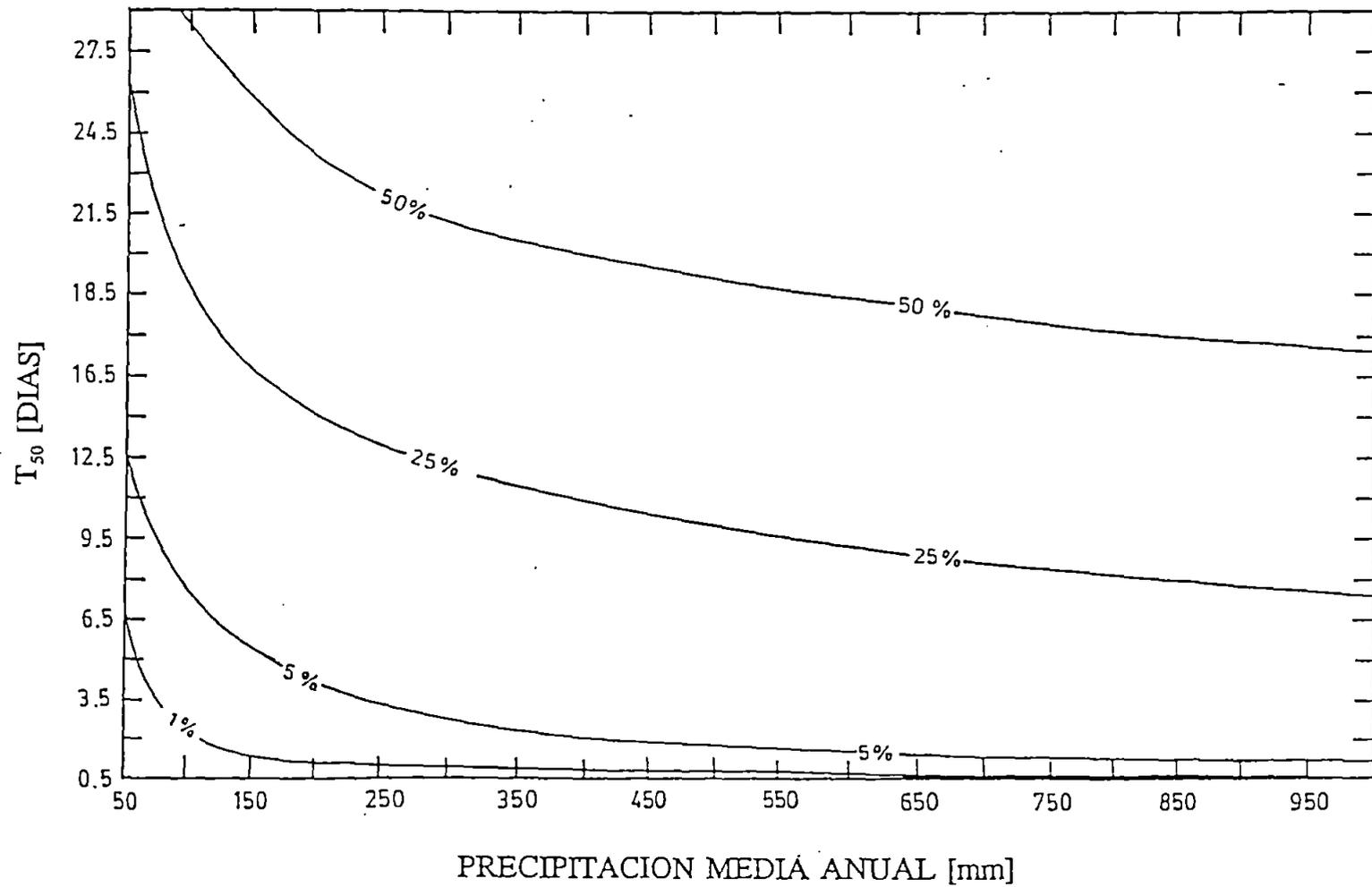


GRAFICO N° 7

TIEMPO DE SATURACION

VII - VIII - IX REGIONES

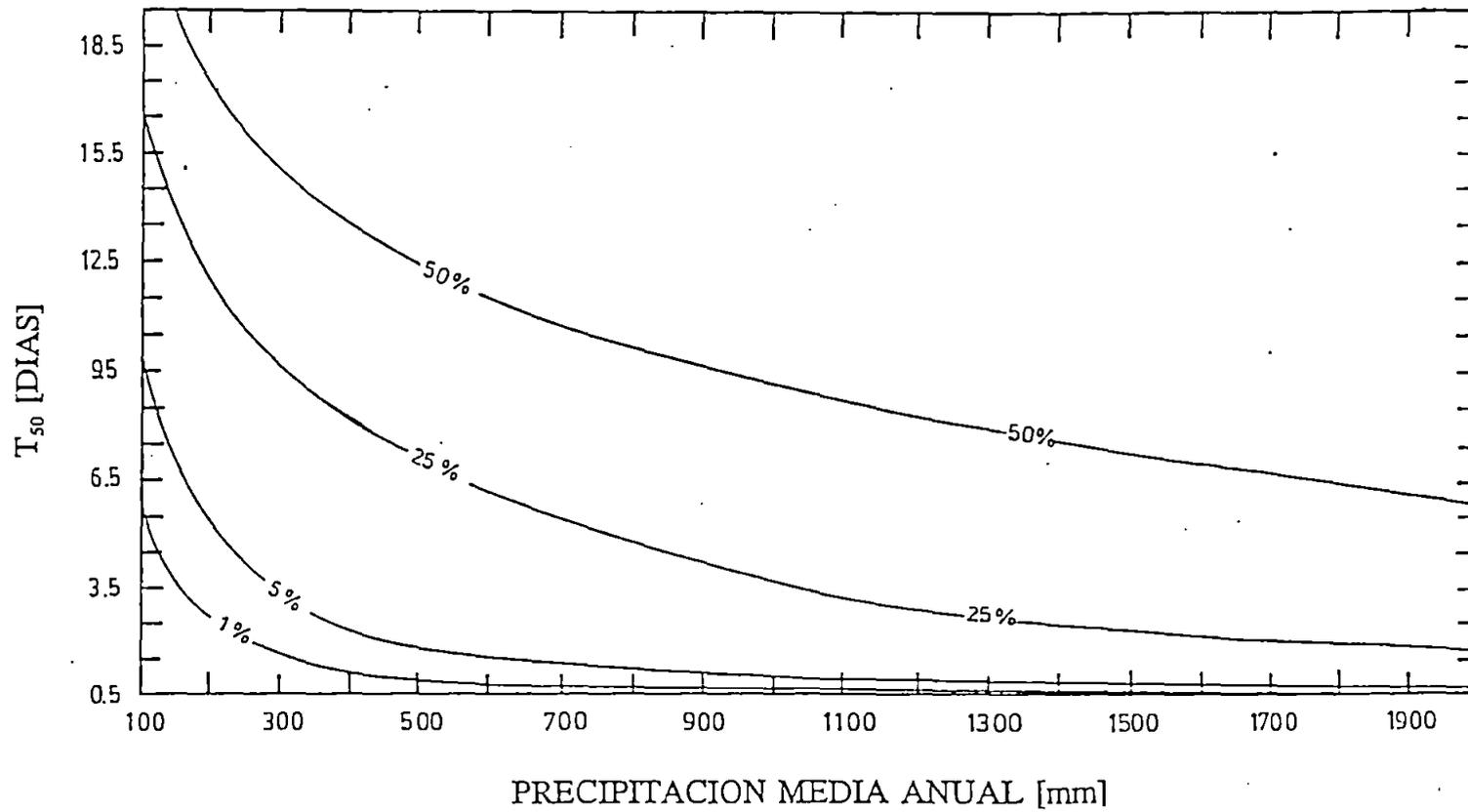


GRAFICO N° 8

TIEMPO DE SATURACION

X REGION

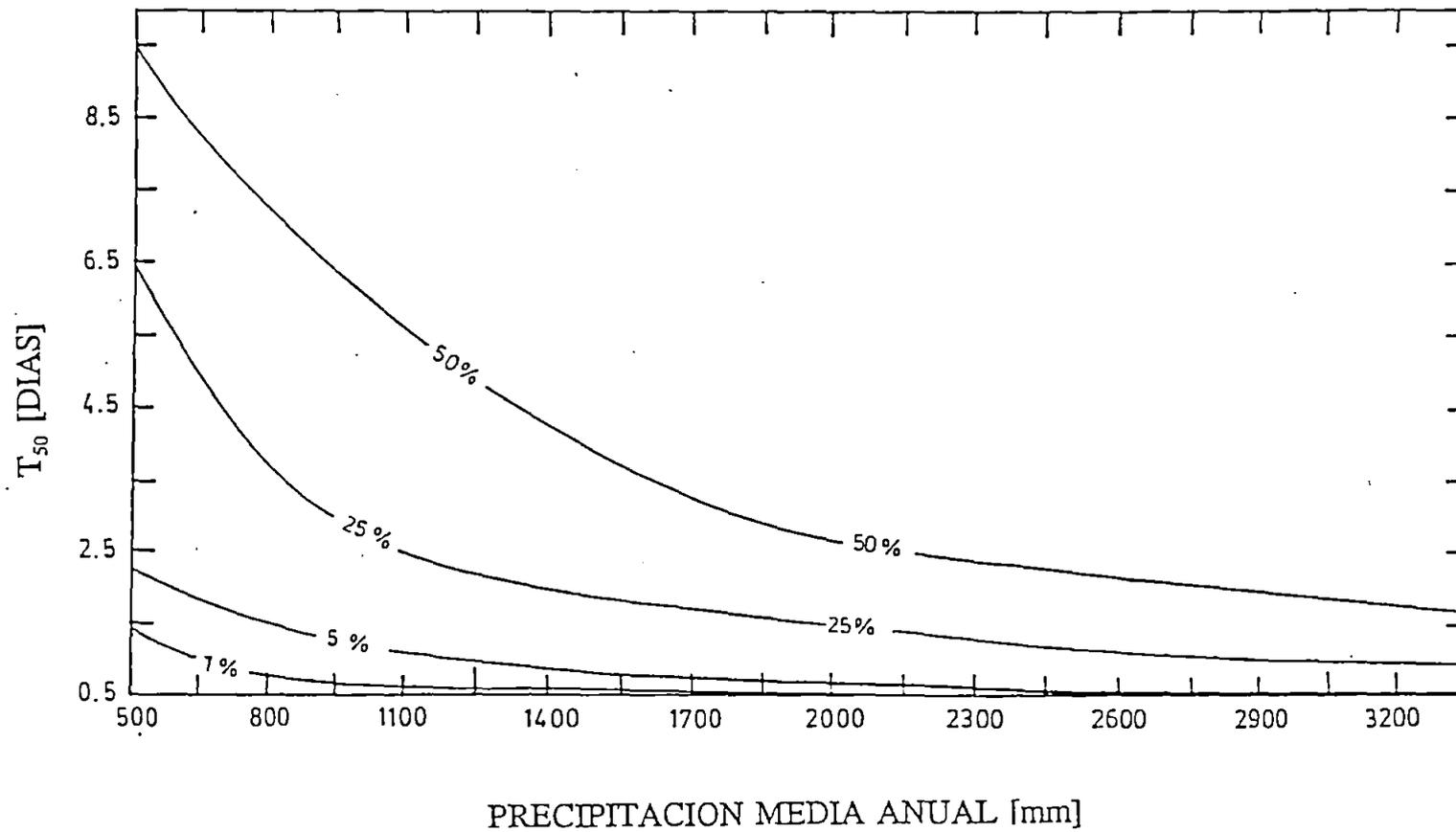


GRAFICO N° 9

TIEMPO DE SATURACION

XI REGION

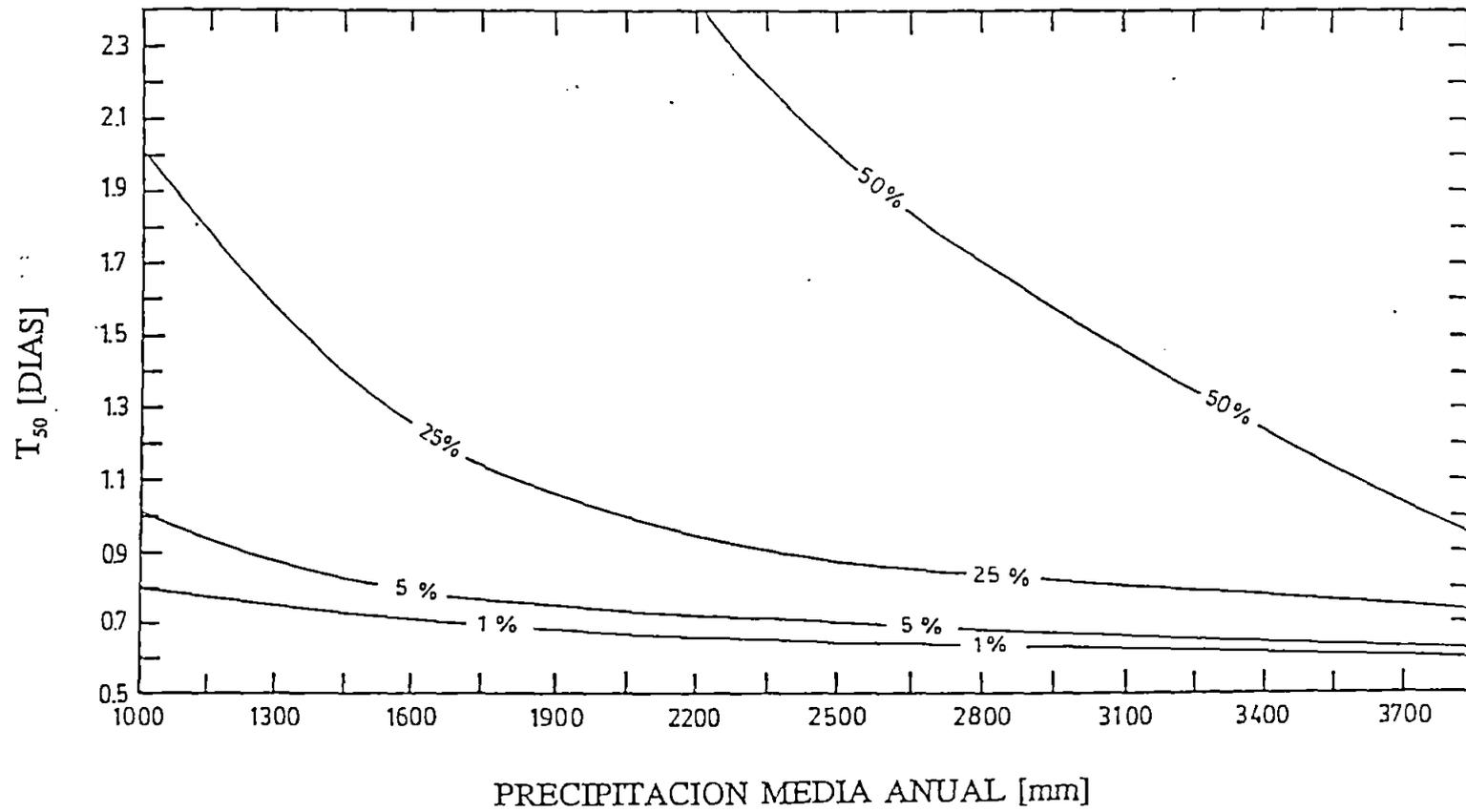


GRAFICO N° 10

TIEMPO DE SATURACION XII REGION

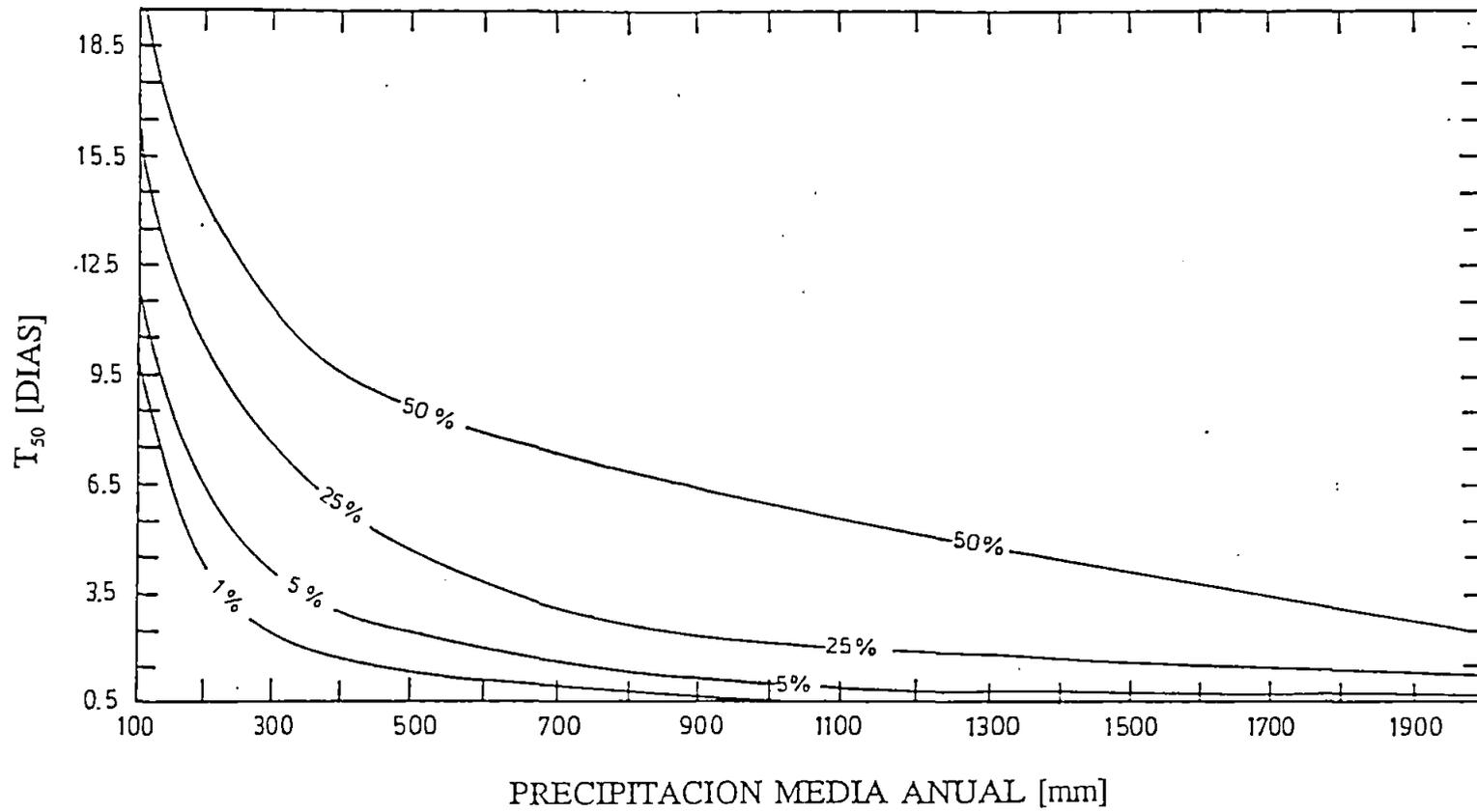


GRAFICO N° 11

2.4 EJEMPLO DE CALCULO DEL COEFICIENTE DE DRENAJE

Determinar el coeficiente de drenaje (C_d) para diseñar un pavimento rígido en la zona de la ciudad de Parral en la VII Región.

Los antecedentes básicos son:

- * Precipitación media anual según Estación Parral Dos: 982 mm.
- * Base según especificación de la Dirección de Vialidad (LNV 102) tipo TM-50b con 5% de finos limosos.
- * Ancho de la base: 950 cm.
- * Pendiente transversal (bombeo): 2%
- * Sub-rasante conformada por una grava-arenosa de 1 m. de altura.

Respuesta:

- * El Gráfico N° 2 indica $K_b = 10^{-2,3}$ (cm/s)
- * El Gráfico N° 1 permite estimar que para la sub-rasante se puede adoptar $K_{sr} = 10^{-3}$ (Por lo tanto $K_{sr} \approx 0,2 \cdot K_b$).
- * Del Gráfico N° 1, con $K_b = 10^{-2,3}$ y $K_{sr} = 10^{-3}$ se obtiene $T_{50}' \approx 1,3$ (días).
- * Ajuste por el ancho de la base (950 cm) : $C1 \approx 1,70$
- * Ajuste por bombeo (2%) : $C2 = 1,0$
- * Ajuste por altura sub-rasante (1 m) : $C3 \approx 0,70$
- * En consecuencia:

$$T_{50} = 1,3 \text{ (días)} \cdot 1,70 \cdot 1,00 \cdot 0,70 = 1,55 \text{ (días)}$$
- * La calidad del drenaje es "buena" (Gráfico N° 1)
- * El Tiempo de Saturación se calcula con el Gráfico N° 8 (VII Región), una precipitación media anual de 982 mm. y un Tiempo de Drenaje de 1,55 días.

Tiempo de Saturación : 5 al 25% (\approx 8%)

- * La Tabla N° 1, indica que para un drenaje "bueno" y un tiempo de saturación entre 5 y 25%, $C_d = 1,10$ a $1,00$.

Interpolando con un Tiempo de Saturación del 8%, se tiene $C_d = 1,08$.

Ajuste Adicional.

Si además de los antecedentes básicos señalados antes para la base, se establece que, por ejemplo:

D.C.S. = 2,10 (gr/cm ³)	(densidad compactada seca)
P.E.S. = 2,60 (gr/cm ³)	(peso específico de los sólidos)
$n = 1 - 2,10/2,60 = 0,19$	(porosidad total)

Esta porosidad total difiere bastante de $n = 0,15$ usado en el Gráfico N° 1, por lo que de acuerdo con lo indicado en el Anexo I, conviene hacer un ajuste adicional, como sigue:

- * Según la Tabla N° I.1, con 5% de finos limosos
 $r = 0,40$ (grava)
- * $n_c = r \cdot n = 0,40 \cdot 0,19 = 0,08$
- * Del Gráfico N° I.3, para $n_c = 0,08$, $C_4 = 0,68$
- * En consecuencia:
 $T_{50} = 1,55$ (días) $\times 0,68 = 1,05$ (días)
- * El drenaje se califica como "bueno" y el tiempo de saturación (Gráfico N° 8) es aproximadamente de un 5%.
- * De la Tabla N° 1, se deduce que $C_d = 1,10$

**2.5 TABLAS: PRECIPITACION MEDIA ANUAL PARA DIVERSAS
ESTACIONES PLUVIOMETRICAS**

PERIODO 1951 - 1980

FUENTE: Ref. 10

ESTACION	LAT	LON	ELEV	P
	o ' "	o ' "	msnm	mm/año
VILLA ALEMANA	33 04	71 25	140	427.0
LAGO PEÑUELAS	33 09	71 33	360	690.0
PTA. CURAUMILLA	33 06	71 45	85	291.0
VALPARAISO (PTA. ANGELES)	33 01	71 38	41	389.0
VALPARAISO (CERRO ALEGRE)	33 03	71 38	112	428.0
HUALLILEMU FDO.	33 24	71 38	340	426.0
SAN GERONIMO HDA.	33 22	71 31	220	467.0
CASABLANCA	33 19	71 24	253	366.0
SAN ANTONIO	33 35	71 38	60	373.0
LAS MAJADAS	33 35	71 32	180	434.0
EL TABO	33 27	71 38	12	483.0
PTA. PANUL	33 34	71 37	63	367.0
ISLA ROBINSON CRUSOE	33 37	78 52	6	922.2
ISLA DE PASCUA	27 10	109 26	41	1113.8
LAS MELOSAS	33 55	70 13	1600	728.0
QUELTEHUES	33 49	70 13	1350	666.0
EL YESO EMB.	33 40	70 06	2475	508.0
SAN GABRIEL	33 47	70 14	1195	555.0
SAN ALFONSO	33 44	70 19	1040	541.0
SAN JOSE DE MAIPO RETEN	33 38	70 22	915	555.0
SAN JOSE DE MAIPO	33 38	70 22	992	536.0
RIO COLORADO	33 36	70 23	910	570.0
LOS MAITENES CENTRAL	33 33	70 16	1140	421.0
PUENTE ALTO	33 37	70 35	713	496.0
LA OBRA DE MAIPO	33 35	70 30	799	514.8
EL CANELO	33 34	70 27	843	694.0
PIRQUE	33 40	70 36	670	471.0
PIRQUE FDO. LO ARCAYA	33 39	70 35	670	397.0
EL TRANSITO FDO.	33 48	70 40	370	437.0
PAINE FDO. VILUCO	33 47	70 47	400	464.0
BUIN	33 44	70 45	488	440.0
ALTO JAHUEL	33 44	70 41	380	414.0
HUELQUEN FDO. LA VEGA	33 49	70 40	391	428.0
CHADA HDA.	33 54	70 40	400	502.0
COLONIA DE PAINE	33 50	70 44	395	448.0
ACULEO	33 53	70 55	370	575.0
HUIGANAL FDO.	33 20	70 30	830	409.0
CERRO CALAN	33 23	70 32	900	350.0
SANTIAGO (EDIF. MOP)	33 27	70 39	560	295.0
APOQUINDO RETEN	33 25	70 32	782	360.0
LA CISTERNA	33 33	70 42	568	351.0
LOS CERRILLOS	33 30	70 42	506	287.0
EL BOSQUE	33 33	70 41	568	321.0
TOBALABA AERODROMO	33 27	70 33	654	307.0
VILLA EL DORADO	33 23	70 33	710	440.0
LA FLORIDA CENTRAL	33 33	70 33	665	408.0
MACUL ESC. AGRICOLA	33 30	70 34	570	379.0
SANTIAGO (QUINTA NIÑAL)	33 26	70 41	520	300.0
SAN BERNARDO	33 35	70 43	573	341.0
POLPAICO FDO.	33 10	70 53	522	302.0
RINCON DE LOS VALLES	32 57	70 45	950	250.0
CALEU	33 01	71 00	1120	572.0
RUNGUE EMB.	33 01	70 55	750	317.0
TIL-TIL	33 05	70 56	515	324.0
VALLE HERMOSO FDO.	33 17	70 38	544	254.0
HUELEN	33 23	70 45	560	278.0
ESMERALDA DE COLINA	33 11	70 40	550	272.0
PEÑAFLO	33 37	70 55	370	320.0
MALLOCO	33 36	70 52	407	367.0
CARMEN DE LAS ROSAS	33 46	70 10	165	421.0
MELIPILLA	33 42	71 13	200	307.0
CAJON DE ACULEO	33 49	71 05	370	498.0
COLLIGUAY	33 10	71 08	490	586.0
ARRAYANES	33 10	71 05	560	594.0
CURACAVI	33 25	71 03	167	328.0
LOS MORROS RETEN	33 39	71 13	580	355.0
CERRILLOS DE LEYDA	33 38	71 30	150	404.0

ESTACION	LAT o ' "	LON o ' "	ELEV msnm	P mm/año
VI REGION				
PANGAL B. T.	34 16	70 20	1428	754.0
PANGAL CASA DE FUERZA	34 15	70 27	920	670.0
BARAHONA SITIO K	34 07	70 31	1672	826.0
CALETONES	34 06	70 27	1570	606.0
SEWELL	34 05	70 22	2155	754.0
PARRON	34 16	70 40	692	687.0
COYA	34 12	70 33	785	686.0
RANCAGUA S/E	34 10	70 45	500	406.0
CENTRAL SAUZAL	34 15	70 38	650	652.0
GRANEROS	34 04	70 44	500	456.0
CACHAPOAL B. T.	34 16	71 00	900	759.0
POPETA	34 26	70 48	360	579.0
CENTRAL LAS NIEVES	34 29	70 42	720	815.0
RENGO	34 25	70 53	310	521.0
SAN FERNANDO S/E	34 36	71 00	330	705.0
VIÑA VIEJA FDO.	34 31	71 12	170	546.0
LAGUNA TAGUA-TAGUA	34 29	71 10	170	717.0
ESPERANZA FDO.	34 18	71 18	164	531.0
PUENTE ARQUEADO	34 17	71 21	119	505.0
ESPINALILLO	34 47	70 41	890	926.0
LA RUFINA	34 44	70 44	735	1058.0
PUENTE NEGRO	34 40	70 53	497	686.0
PLACILLA	34 38	71 08	154	775.0
SANTA SUSANA	34 51	70 59	620	871.0
CONVENTO VIEJO	34 46	71 07	245	704.0
SANTA ROSA HDA.	34 47	71 06	890	723.0
PANIAHUE S/E	34 38	71 22	190	743.0
NANCAGUA CCT	34 41	71 12	370	762.0
LIHUEIMO FDO.	34 32	71 27	350	737.0
SAN JOSE DEL CARMEN	34 33	71 23	138	696.0
LAS ARANAS	34 42	71 15	334	645.0
VILLA ALHUE	34 02	71 05	270	505.0
LONCHA	34 07	71 08	210	526.0
LOS QUILLAYES HDA.	34 08	71 28	130	486.0
PUQUILLAY	34 12	71 30	330	626.0
LLALLAUQUEN	34 15	71 26	113	446.0
CALLEUQUE	34 22	71 28	106	567.0
MARCHIHUE	34 24	71 38	117	532.0
LA ESTRELLA	34 12	71 40	200	600.0
QUELENTARO (C. RAPEL)	34 02	71 35	260	449.0
CORNECHE	33 57	71 40	190	687.0
RAPEL	33 57	71 52	50	638.0
PICHILEMU	34 24	72 00	5	541.0
LA CANDELARIA	34 47	71 41	220	882.0
LOLOL HDA.	34 45	71 40	170	759.0
PUMANQUE HDA.	34 37	71 40	112	614.0

VII REGION

ILOCA	34 57	72 13	50	819.0
LLICO	34 46	72 07	4	714.0
LOS QUEÑES	35 00	70 49	809	1330.0
EL MANZANO	34 58	70 56	550	1382.0
RAUCO	34 55	71 19	164	778.0
TENO	34 52	71 10	298	780.0
POTRERO GRANDE	35 12	71 07	450	1087.0
MOLINA	35 06	71 16	125	809.0
CURICO	34 59	71 14	125	717.0
VILLA ALEGRE	34 57	71 08	294	769.0
ROMERAL	34 58	71 05	294	807.0
LONTUE	35 02	71 18	230	666.0
CUREPTO SENDOS	35 05	72 03	60	624.0
CENTRAL ISLA B. T.	35 49	70 46	850	1598.0
EL MEDANO	35 49	70 46	970	1502.0
LOS TOROS	35 50	70 45	1150	1463.0
CENTRAL CIPRESES C. MAQ.	35 48	70 49	943	1517.0
CENTRAL CIPRESES CAMP.	35 47	70 49	990	1634.0
DESAGUE LAGUNA INVERNADA	35 44	70 47	1325	1402.0
COLORADO EN JUNTA CON MAULE	35 46	70 36	800	1598.0
ESTERO LAS GARZAS	35 46	71 00	700	1572.0

ESTACION	LAT	LON	ELEV	P
	o ' "	o ' "	msnm	mm/año
TALCAHUANO	36 43	73 07	84	1169.0
LAGUNA GALLETUE DESG.	38 41	71 14	1050	1375.0
LONQUIMAY	38 26	71 14	1000	1943.0
TROYO	38 14	71 18	650	2260.0
RALCO (PANGUE)	37 53	71 37	550	4080.0
QUEUCO BAJO LLALLAHUEN	37 51	71 38	480	3160.0
HUACHI	37 38	71 44	600	2213.0
CERRO EL PADRE	37 46	71 53	400	2149.0
QUILACO	37 41	72 00	225	1600.0
SANTA BARBARA	37 40	72 02	225	1540.0
VILLACURA RETEN	37 33	71 55	357	1725.0
DUQUECO	37 31	72 20	120	1080.0
HUAMAN FDO.	37 26	72 15	166	1124.0
EL TORREON	37 23	72 56	200	1490.0
MULCHEN	37 43	72 14	130	1192.0
SAN JOSE DE MUNILQUE	37 35	72 25	125	1104.0
SAN LUIS DE MALVEN	37 40	72 25	15	1193.0
SANTA FE	37 28	72 37	77	1145.0
LOS GUINDOS	38 03	71 49	440	3550.0
EL MORRO HDA.	38 01	71 57	400	2480.0
LAGUNA DEL MALLECO	38 13	71 49	830	2653.0
COLLIPULLI	37 57	72 26	240	1287.0
EL FISCAL FDO.	37 53	72 26	244	1084.0
LOS SAUCES FDO.	37 59	72 49	111	727.0
ANGOL (LOS ESTANQUES)	37 48	72 42	79	1059.0
EL TAMBILLO	37 33	72 40	125	1260.0
NACIMIENTO	37 30	72 41	57	1377.0
LAS ACHIRAS FDO.	37 21	72 23	140	1135.0
TUCAPEL RETEN	37 17	71 57	335	1329.0
HUAQUI	37 23	72 12	200	1487.0
COLONIA SAN GERARDO	37 32	71 50	350	1120.0
LOS ANGELES	37 28	72 21	109	1155.0
DESAGUE LAGO LAJA	37 22	71 22	1375	2197.0
POLCURA EN BALSEADERO	37 19	71 32	740	2176.0
CENTRAL ABANICO	37 21	71 30	765	2190.0
ANTUCO	37 20	71 40	602	1330.0
LA PALMA	37 15	72 35	160	986.0
LOS QUILLAYES	37 15	72 32	112	1217.0
CABRERO DOS.	37 01	72 24	130	953.0
SAN CRISTOBAL FDO.	37 10	72 35	110	1026.0
BATUCO EN YUMBEL	37 08	72 18	150	1080.0
LA AGUADA	37 10	72 25	150	1250.0
LAJA	37 16	72 42	140	1015.0
HUALQUI DOS.	36 58	72 57	21	1368.0
LLEPINHUE	36 57	71 55	22	1509.0
CHIGUAYANTE DOS.	36 55	73 02	18	1580.0
CERRO CARACOL DOS.	36 50	73 03	100	1120.0
ISLA SANTA MARIA	36 59	73 32	79	850.8
LOTA	37 05	73 10	10	1239.0
CORONEL	37 01	73 10	5	1110.0
LA COLCHA FDO.	37 15	73 15	30	1498.0
ARAUCO	37 15	73 19	10	1419.0
CURANILAHUE	37 29	73 20	140	1937.0
LEBU	37 35	73 40	8	1447.0
CAÑETE	37 48	73 24	25	1374.0
ANTIQUINA FDO.	38 03	73 21	20	1228.0
ISLA MOCHA	38 21	73 58	18	1149.0

IX REGION

CONTULMO	38 02	73 13	30	1723.0
PUREN	38 02	73 03	90	1408.0
LUMACO	38 09	72 55	160	970.0
VICTORIA (LAS MERCEDES)	38 14	72 20	350	1467.0
SAN ELIAS FDO.	38 14	72 22	300	1588.0
TRAIGUEN	38 15	72 40	170	1373.0
SELVA OSCURA	38 21	72 11	449	1239.0
QUILLEN	38 27	72 25	280	1267.0
GALVARINO	38 24	72 47	45	912.0
EL AROMO	38 25	72 52	46	993.0
NUEVA IMPERIAL	38 45	72 56	26	721.0
MANZANAR	38 28	71 42	780	2230.0
MALALCAHUELLO	38 28	71 34	920	2067.0
CURACAUTIN	38 26	71 53	571	2023.0
LAUTARO	38 31	72 26	210	1442.0
CERRO NIELOL	38 43	72 36	120	1267.0
TEMUCO PUEBLO NUEVO	38 44	72 45	115	1265.0
PADRE LAS CASAS	38 46	72 35	111	1275.0
TEMUCO	38 46	72 38	114	1217.0
CHERQUENCO	38 41	72 00	526	2039.0

ESTACION	LAT	LON	ELEV	P
	o '	o '	msnm	mm/año
VILCUN	38 40	72 14	290	1757.0
FREIRE	38 56	72 39	100	1579.0
FREIRE CPTO. FISCAL	38 56	72 39	100	1606.0
BOROA MISION	38 50	72 51	103	1036.0
CARAHUE	38 43	73 09	10	777.0
PUERTO SAAVEDRA	38 47	73 24	5	1183.0
CUNCO	38 55	72 02	385	1977.0
LOS LAURELES	38 59	72 14	190	2128.0
QUECHEREGUA	39 00	72 02	420	2081.0
DESAGUE LAGO COLICO	39 03	72 04	93	2238.0
SANTA ADELA FDO.	39 06	72 13	240	2472.0
CURACO EN LA BALSA	39 03	72 12	250	2238.0
CURARREHUE	39 21	71 36	530	2487.0
LLAFENCO RETEN	39 20	71 47	300	3367.0
CABURGUA	39 10	71 46	480	3768.0
PUCON	39 16	71 58	215	2100.0
VILLARRICA	39 17	72 14	250	2159.0
FLOR DEL LAGO	39 09	72 07	300	2608.0
LA CASCADA FDO.	39 20	71 58	1200	2173.0
QUITRATUE	39 09	72 40	90	2264.0
ALLIPEN CHIDUCO	39 01	72 27	220	2189.0

X REGION

MEHUIN	39 22	73 13	22	1537.0
PIRIHUEICO	40 02	71 42	600	2962.0
PUERTO FUI	39 52	71 54	596	4440.0
HUAHUM EN LA FRONTERA	40 05	71 41	654	2364.0
HUILO-HUILO	39 49	72 00	320	3392.0
DESAGUE LAGO NELTUME	39 49	71 58	450	3437.0
DESAGUE LAGO CALAFQUEN	39 33	72 04	200	2148.0
CENTRAL PULLINQUE	39 35	72 13	145	2096.0
PANGUIPULLI	39 39	72 20	140	2297.0
CHAN-CHAN	39 51	72 08	130	4284.0
DESAGUE LAGO RIÑIHUE	39 46	72 28	130	2433.0
REUMEN	39 58	72 51	170	2284.0
ANTILHUE	39 47	72 58	15	1922.0
MAFIL	39 53	72 57	25	1017.0
LLANCAHUE	39 50	73 10	80	2103.0
VALDIVIA	39 49	73 14	5	2307.0
VISTA ALEGRE	39 48	73 13	100	2266.0
LA PAZ	39 24	72 43	94	1718.0
LONCOCHE	39 22	72 38	120	2191.0
PURULON (ESC. AGRICOLA)	39 28	72 36	95	2245.0
S. JOSE DE LA MARIQUINA	39 31	72 58	40	1515.0
MINA EL ROBLE	39 34	72 46	100	2193.0
NIEBLA	39 52	73 24	40	2261.0
PUERTO MARIN	40 15	72 03	130	4755.7
PUNIRO	40 16	72 12	140	3306.2
LAGO RANCO	40 19	72 28	75	1946.6
ISLA HUAPI	40 13	72 24	90	1690.7
CALCURRUPE EN LLIFEN	40 13	72 16	90	2091.0
FUTRONO	40 08	72 24	90	1553.5
COTRILLAR FDO.	40 07	72 30	280	1641.2
RIO BUENO	40 18	72 56	70	1191.0
LA UNION SENDOS	40 18	73 06	29	1157.3
QUILLACO L. RANCO	40 18	73 30	79	1769.9
CHOROICO FDO.	40 11	72 54	88	1339.0
LAGO PUYEHUE	40 41	72 32	220	1515.3
CENTRAL PILMAIQUEN	40 32	72 40	103	2016.5
SAN PABLO	40 25	73 01	60	1346.1
TRUMAO	40 21	73 07	11	994.0
RIO BONITO-RUPANCO	40 52	72 77	82	3140.8
RUPANCO	40 51	72 21	172	1701.7
CASMA	41 01	73 07	113	1228.7
PURRANQUE	40 56	73 09	112	1505.8
BARROS BLANCOS CAMPEX	40 34	73 04	27	1276.8
ISLA FRESIA	40 39	72 25	220	1845.4
OSORNO	40 35	73 06	50	1384.0
FORESTAL HDA.	40 15	73 30	40	1974.0
VENECIA	40 15	73 42	200	3120.9
PUERTO VARAS	41 20	72 59	74	1725.4
MIRADOR FDO.	41 20	72 57	74	1707.2
LLANQUIHUE	41 14	72 58	54	1422.5
PUERTO OCTAY	40 59	72 52	40	1515.2
GERMANIA COLEGIO	41 20	73 07	150	1697.3
GUTAMANGA	41 39	73 29	50	2410.5
MAULLIN	41 37	73 35	47	1789.8
PTO. MONTT (EL TEPUAL)	41 26	73 07	81	1910.6
LAGO CHAPO EN CEDRO	41 31	72 27	247	4523.1
CANUTILLAR EN PORTEZUELO	41 31	72 22	550	4519.1

ESTACION	LAT	LON	ELEV	P
	o ' o '	o ' o '	msnm	mm/año
DESAGUE LAGO CHAPO	41 26	72 35	247	3304.1
CASA PANGUE	41 03	71 53	320	3397.2
LAGO TODOS LOS SANTOS	41 39	72 11	28	3119.4
CAYUTUE	41 10	72 16	221	3929.8
PUNTA HUANO	41 08	72 17	186	3162.3
PETROHUE EN LAGO T. LOS SANTOS	41 08	72 25	150	3798.2
ENSENADA	41 12	72 32	51	2456.3
COCHAMO	41 30	72 19	10	3333.0
MANSO EN LA FRONTERA	41 31	71 51	485	2455.2
MANSO EN JTA. CON PUELO	41 44	72 03	45	3095.8
PUELO EN LLANADA GRANDE	41 52	71 56	250	2581.0
PUELO EN JUNTA CON MANSO	41 45	72 03	50	3310.0
LAGO TAGUA TAGUA EN DESAGUE	41 39	72 11	28	3232.0
PUELO EN CARRERA BASILIO	41 38	72 16	8	3891.0
RIÑIHUE	42 34	71 30	5	5343.0
CHAITEN	42 54	72 45	20	3543.0
LAGO ESPOLON EN DESAGUE	43 13	71 57	780	2405.0
FUTALEUFU EN LA FRONTERA	43 10	71 45	500	1438.0
FUTALEUFU	43 12	71 52	330	2252.8
PUERTO RAMIREZ	43 27	72 09	62	3775.0
PUERTO CARDENAS	43 12	72 27	62	4680.0
TRES CRUCES	41 50	73 29	25	2063.3
CASTRO	42 29	73 48	30	1886.1
QUELLON	43 10	73 43	4	2007.2
ANCUD	41 52	73 49	30	2965.2
PUNTA CORONA	41 47	73 52	48	2113.1
ISLA GUAFO	43 34	74 45	140	1234.2

XI REGION

ALTO PALENA	43 37	71 47	226	1652.1
VALLE CALIFORNIA	43 40	71 37	320	1576.0
PALENA EN LA FRONTERA	43 35	71 45	230	1365.0
RIO FRIO	43 35	72 20	80	4030.0
LAGO VERDE	44 14	71 53	402	1495.0
FUNDO RISOPATRON	43 45	72 35	10	4667.0
PUERTO PUYUHUAPI	44 19	72 34	5	3620.6
RIO CISNES	44 30	71 19	710	514.9
PUERTO CISNES	44 45	72 45	7	3939.4
MANIHUALES	45 10	72 09	400	1789.3
BALMACEDA	45 54	71 43	520	837.5
COIHAIQUE (ESC. AGRICOLA)	45 34	72 01	343	1190.0
COIHAIQUE ALTO	45 29	71 39	771	369.2
DESAGUE LAGO CARO	45 48	72 36	285	2909.0
PUERTO AISEN	45 24	72 42	10	2802.5
PUERTO CHACABUCO	45 29	72 59	1	2945.4
ISTMO OFQUI	46 44	74 00	25	2933.0
CABO RAPER	46 50	75 41	40	2625.3
PUERTO IBAÑEZ	46 15	72 00	215	512.0
VILLA CASTILLO	46 07	72 10	270	774.2
PUERTO CRISTAL	46 38	72 22	208	681.3
PUERTO GUADAL	46 51	72 41	230	822.1
COLONIA	47 15	72 38	150	715.5
COCHRANE	47 16	72 38	100	708.0
CHILE CHICO	46 32	71 44	215	354.5
BAKER BAJO LOS ÑADIS	47 32	73 02	25	1589.8
LAGO VARGAS	47 40	73 03	20	1885.0
PUERTO BERTRAND	47 01	72 43	100	1314.1
LAGO O'HIGGINS EN LA FLORIDA	48 40	72 35	914	245.2
LAGO O'HIGGINS EN TENENCIA	48 55	72 44	300	764.5
PASCUA EN LAGO QUETRU	48 13	73 10	20	2985.0
ESTANCIA BAKER	47 12	71 58	1200	409.0
SAN PEDRO	47 43	74 55	22	4293.8

ESTACION	LAT	LON	ELEV	P
	o ' .	o ' .	msnm	mm/año
XII REGION				
PUERTO EDEN	49 08	74 25	14	2914.4
ISLA GUARELLO	50 21	75 21	15	7119.4
CERRO GUIDQ	50 53	72 24	815	274.3
RIO PAINE	51 11	72 58	46	801.8
LAGO SARMIENTO	51 01	72 42	55	366.3
CERRO CASTILLO	51 16	72 21	750	362.3
PUERTO CONSUELO	51 36	72 39	20	594.4
CASAS VIEJAS	51 42	72 26	250	249.0
RIO TRANQUILO	51 49	72 08	150	405.4
PUERTO BORIS	51 42	72 31	22	210.4
FARO EVANGELISTAS	52 23	75 08	58	2469.2
EL TROBOL ESTANCIA	52 45	71 24	5	368.1
LAGUNA BLANCA	52 37	71 10	250	269.7
BAHIA BECKET	52 45	70 45	5	987.2
TRES CHORRILLOS ESTANCIA	52 32	70 42	200	273.8
FENTON ESTANCIA	52 43	70 53	50	425.1
KAMPENAIKE	52 41	70 54	30	292.3
SECCION DAZY HARBOUR	52 30	70 33	200	237.7
SAN GREGORIO ESTANCIA	52 34	70 04	5	231.3
CALETA JOSEFINA	53 20	69 20	20	330.1
PUNTA DUNGENES	52 23	68 25	5	273.2
PUNTA DELGADA	52 28	69 31	5	236.5
CABO POSESION	52 18	68 57	80	248.1
CABO SAN ISIDRO	53 47	70 59	20	880.5
LA BAGLINA ESTANCIA	53 35	70 58	5	676.9
PUNTA ARENAS	53 10	70 54	20	422.8
CHABUNCO	53 00	70 50	33	364.3
ISLA MAGDALENA	52 55	70 33	30	391.8
VILLA TEHUELCHÉ	52 13	71 20	200	355.5
TENIENTE MERINO	52 07	70 44	220	137.1
BAHIA FELIX	52 58	74 04	15	4254.6
BAHIA HARRIS	53 50	70 24	12	1101.0
PUNTA CATALINA ESTANCIA	52 35	68 44	50	252.9
CERRO SOMBRERO	52 44	69 19	110	236.7
BAHIA FELIPE	52 52	69 55	100	340.1
ESMERALDA ESTANCIA	53 35	70 30	20	617.3
PORVENIR RADIO	53 18	70 23	40	329.5
CAMERON	53 38	69 39	50	476.5
SECCION SN. SEBASTIAN	53 20	68 40	100	416.2
RUSFFIN	53 46	69 09	900	371.8
DIEGO RAMIREZ	56 30	68 40	42	1464.3
ISLA NUEVA	55 10	66 36	14	941.1
PUERTO NAVARINO	54 57	68 20	8	435.0
PUERTO WILLIAMS	54 56	67 38	36	574.5
C. M. A. PDTE. FREI	62 25	58 53	10	478.5

A N E X O I

CALIDAD DEL DRENAJE

- Modelación del tiempo de drenaje.
- Ajuste por variación de la porosidad cinemática
- Ajuste por variación del espesor de la base
- Cálculo aproximado de la permeabilidad

MODELACION DEL TIEMPO DE DRENAJE

El Tiempo de Drenaje (T_{50}) es el período que requiere una determinada estructura en drenar el 50% del agua libre a partir de un estado 100% saturado.

En este trabajo se presenta un modelo con régimen impermanente para determinar el tiempo de drenaje con evacuación horizontal y vertical del agua libre existente. Dicho modelo queda determinado por la ecuación que define el flujo de régimen permanente en un acuífero libre entre dos zanjas paralelas (Ec. *) y la variación de las condiciones de borde a medida que aumenta el volumen drenado. Es decir, el régimen impermanente se modela discretizando el drenaje en pequeños intervalos con modelos de flujo permanente.

Las variables involucradas en el modelo son:

- Ancho (de la calzada + berma) = L [cm]
- (Si existe un dren, L se mide hasta el dren)
- Espesor de la base = d [cm]
- Porosidad cinemática = n_c
- Bombeo = i [%]
- Altura de subrasante = H_o [cm]
- Permeabilidad de la base = K_b [cm/s]
- Permeabilidad de la subrasante = K_{sr} [cm/s]

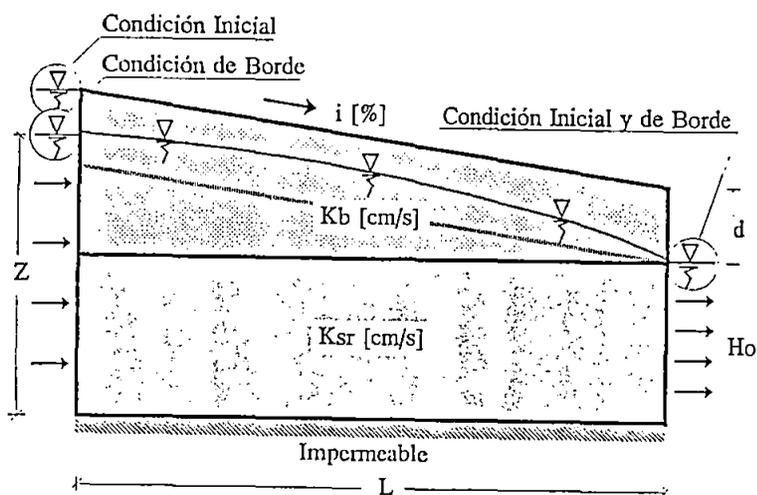


FIGURA I.1. Esquema del modelo para determinar el T_{50} .

Tanto las variables involucradas como las condiciones de borde consideradas en el modelo se grafican en la Figura I.1.

La ecuación que describe el caudal de salida en el modelo propuesto, se expresa como:

$$Q = \frac{K_{eq}}{2L} (Z^2 - H_0^2) \quad \left[\frac{cm^3}{s} \right] \quad (\text{Ec. } *)$$

donde Z queda definido en la Figura I.1 y K_{eq} es la permeabilidad equivalente considerando la base y subrasante:

$$K_{eq} = \frac{\left(\frac{Z-H_0}{2}\right) K_b + H_0 K_{SR}}{\left(\frac{Z-H_0}{2}\right) + H_{SR}} \quad \left[\frac{cm}{s} \right]$$

El modelo opera calculando el tiempo que demora la estructura en drenar una altura de agua equivalente a 5 mm; luego bajando la altura de la condición de borde de la izquierda de la Figura I.1 en 5 mm, se vuelve a calcular el tiempo requerido en drenar un volumen equivalente a 5 mm de altura de agua. Este procedimiento se realiza sucesivamente hasta que el agua en la base alcanza a la mitad de su altura. La suma de los intervalos de tiempo determina el tiempo de drenaje (T_{50}).

El modelo fue aplicado en una estructura considerada como "típica" de pavimento variando las permeabilidades de la base y subrasante (Gráfico N° 1). En seguida se analizó lo que sucedía al modificar las características geométricas de la estructura (una cada vez); se comprobó que el tiempo de drenaje es función de esos parámetros y de la relación que exista entre las permeabilidades de la base y subrasante (sólo el efecto de la variación de la porosidad cinemática es independiente de las permeabilidades). En consecuencia se propone determinar el tiempo de drenaje partiendo de un T_{50}' para la estructura típica y luego ajustarlo (multiplicando por factores) por el efecto que implican condiciones diferentes.

Como los factores de ajuste para corregir el T_{50}' se determinaron considerando el conjunto de características (sección tipo) constantes y variando sólo la característica

de interés, se verificó mediante algunos ejemplos que la variación simultánea de varias características no produce un error considerable en el cálculo del tiempo de drenaje. Es decir, los factores de ajuste entregan las derivadas parciales de las variables dado un grupo de características (sección tipo). Sin embargo, si se considera otro grupo de características el error que se comete es despreciable. A continuación se ilustran dos de los ejemplos realizados:

Considere una sección con las siguientes características:

Largo	=	1000 cm
Espesor	=	20 cm
Porosidad	=	10 %
Bombeo	=	2,5 %
Alt. Subr.	=	30 cm

Con	K_b	=	0,01 cm/s
	K_{sr}	=	0,001 cm/s

Por gráficos se tiene (valores exactos de factores de ajuste):

$$T_{50} = 0,971 \text{ días} \times 1,66 \times 0,8333 \times 0,811 \times 1,1379$$

$$= \mathbf{1,29 \text{ días}}$$

Con la aplicación directa del modelo se tiene el T_{50} real:

$$T_{50} = \mathbf{1,26 \text{ días}}$$

Por otro lado, considere la sección:

Largo	=	400 cm
Espesor	=	29 cm
Porosidad	=	15 %
Bombeo	=	3 %
Alt. Subr.	=	100 cm

y con	K_b	=	0,01 cm/s
	K_{sr}	=	0,001 cm/s

Por gráficos se tiene:

$$T_{50} = 0,971 \text{ días} \times 0,61 \times 1,25 \times 0,671 \times 0,7677$$

$$= \mathbf{0,40 \text{ días}}$$

Y con la aplicación directa del modelo: $T_{50} = \mathbf{0,45 \text{ días}}$ (real)

AJUSTE POR VARIACION DEL ESPESOR DE LA BASE

Entre los parámetros que afectan el tiempo de drenaje, está el espesor de la base a drenar. En el Gráfico I.1, se muestra el factor de ajuste en función de este parámetro y de la relación de permeabilidades entre la base y la sub-rasante.

En el Gráfico I.2, se muestra la variación del tiempo de drenaje en función del espesor de la base y para varias relaciones de permeabilidad entre la base y la sub-rasante (se consideró $K_b = 10E(-3)$). Se comprueba que para los rangos habituales de espesores de base más sub-base (15 a 35 cm), el efecto es muy poco significativo. Consecuentemente se propone no considerar el efecto de variación del espesor de la base, dado la poca relevancia que ello tiene en el tiempo de drenaje. En todo caso, si se decidiera considerarlo, debe adoptarse un factor de ajuste igual a la unidad cuando $K_{sr} = K_b$.

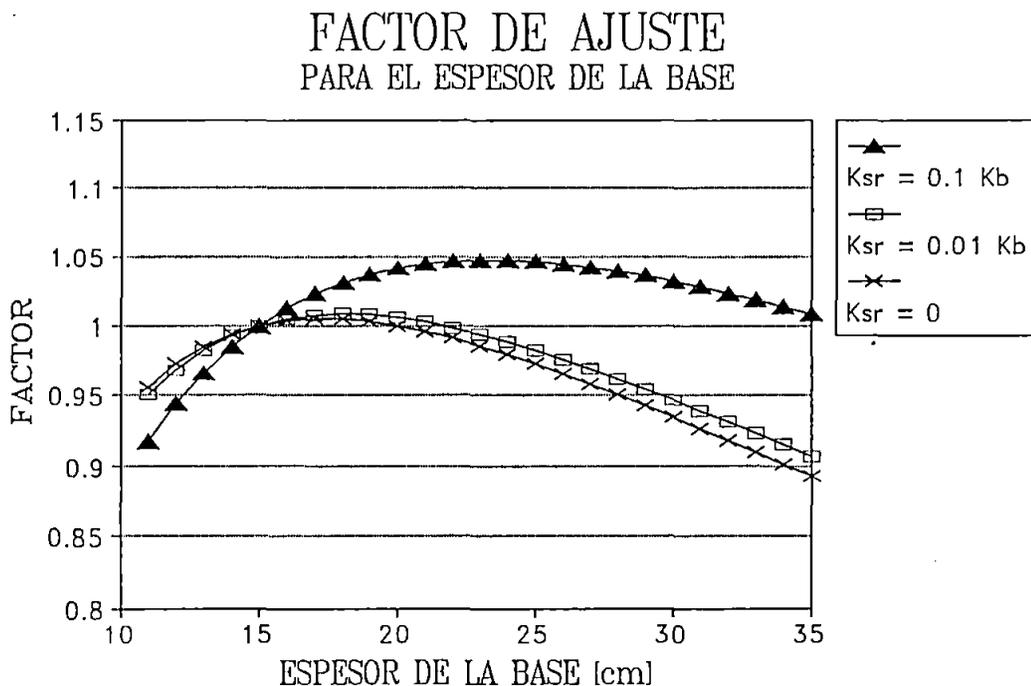


GRAFICO I.1

VARIACION DEL ESPESOR DE LA BASE

$$K_b = 1 \text{ E}(-4)$$

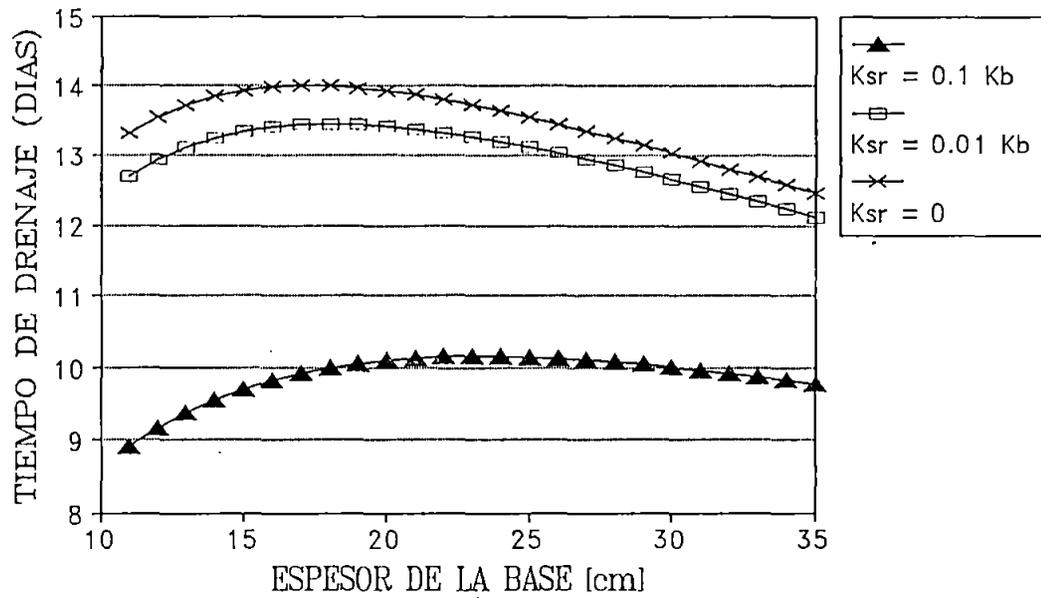


GRAFICO I.2

AJUSTE POR VARIACION DE LA POROSIDAD CINEMATICA

El Gráfico N°1 permite calcular los T_{50}' para las condiciones de la Sección Tipo y para una porosidad cinemática (agua libre) del 12%. En el caso que en un proyecto se prevea una porosidad muy diferente del valor usado en el Gráfico N° 1, el T_{50}' calculado debe corregirse afectándolo por un factor de ajuste C4, a determinar del Gráfico I.3.

La POROSIDAD TOTAL (n) es igual a 1 menos la razón entre la densidad compactada seca (D.C.S.) y el peso específico de los sólidos (P.E.S.). Es decir:

$$n = 1 - D.C.S./P.E.S.$$

Ahora bien, el volumen de agua a drenar es el agua libre contenida en el suelo, es decir, aquella susceptible de evacuar por medios gravitacionales. El agua libre o porosidad cinemática (n_c) es una fracción de n . Por lo tanto:

$$n_c = r \cdot n$$

Para suelos sin finos, normalmente se acepta que $r = 0,80$ (80% del agua de saturación es libre). Para suelos con algún contenido de finos el valor de "r" se puede determinar a partir de la Tabla I.1.

MATERIAL PREDOMINANTE		CANTIDAD DE FINOS								
		< 2.5%			5%			10%		
		TIPO DE FINO			TIPO DE FINO			TIPO DE FINO		
		FILLER	LIMO	ARCILLA	FILLER	LIMO	ARCILLA	FILLER	LIMO	ARCILLA
GRAVA		0,70	0,60	0,40	0,60	0,40	0,20	0,40	0,30	0,10
ARENA		0,57	0,50	0,35	0,50	0,35	0,15	0,25	0,18	0,08

Tabla I.1.

Porcentaje (r) del agua susceptible de Drenar (Ref. 2)

Una vez determinado el valor de n_c , el Gráfico I.3 permite determinar el Factor de Ajuste, C_4 , por el cual debe multiplicarse el T_{50}' calculado según el Gráfico N° 1.

Se recuerda, que la porosidad y la permeabilidad no son variables independientes en un determinado suelo, tal como lo muestran las expresiones de la FHWA y Kozeny, incluidas en este mismo Anexo. En consecuencia, un cambio en la porosidad determina una modificación de la permeabilidad.

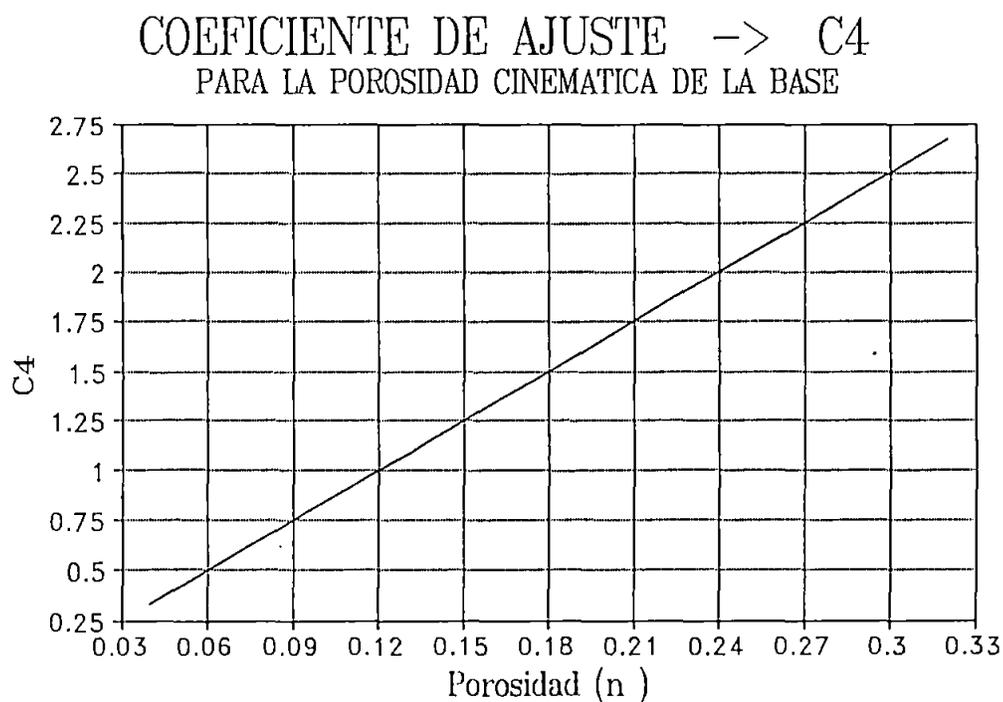


Gráfico I.3

CALCULO APROXIMADO DE LA PERMEABILIDAD

Con el propósito de estimar la permeabilidad de las bases no tratadas, se estudiaron distintas fórmulas empíricas y teóricas que calculan el coeficiente hidráulico a partir de datos granulométricos y de mecánica de suelos (Ref. 5). Dichas fórmulas, en general, entregan resultados bastante aproximados a la realidad en suelos gruesos, es decir, con bajo contenido de finos; a medida que estos aumentan, los resultados son más imprecisos.

1) Fórmula de Hazen:

Esta fórmula empírica es utilizada por AASHTO (Ref. 1) y se caracteriza por su sencillez, incluye sólo una característica del suelo.

$$K = C d_{10}^2 \left[\frac{cm}{s} \right]$$

d_{10} [cm] : Diámetro por el cual pasa el 10% del material.
 C : Coeficiente que varía entre 90 y 120. (aprox. 100)

2) Fórmula de la FHWA :

Es una fórmula empírica que AASHTO (1993) recomienda para ser usada en bases de pavimentos:

$$K = \frac{219,22 d_{10}^{1,478} (n)^{6,654}}{(P_{200})^{0,597}} \left[\frac{cm}{s} \right]$$

d_{10} [cm] : Diámetro por el cual pasa el 10% del material.
 n : Porosidad total.
 P_{200} : Porcentaje que pasa la malla ASTM #200

3) Fórmula de Kozeny (Fair & Hatch, 1933):

Esta fórmula tiene fundamentos teóricos y un ajuste de coeficientes en forma empírica. Además, considera más características del material que las otras fórmulas.

$$K = 10^5 \beta \frac{n^3}{(1-n)^2} \left[\frac{\alpha}{100} \sum_m \frac{P_m}{d_m} \right]^{-2} \left[\frac{cm}{s} \right]$$

- P_m : Porcentaje que pasa entre dos mallas adyacentes.
 d_m : Media geométrica entre dos mallas adyacentes [cm].
 n : Porosidad total.
 α : Coeficiente de forma de los granos $\rightarrow 6$
 β : Coeficiente $\rightarrow 5$

Para verificar la bondad de las fórmulas precedentes, ellas se usaron para calcular la permeabilidad que correspondería a seis granulometrías de bases (sin finos) que figuran en la Ref. 1 y para las cuales se señalan los respectivos coeficientes de permeabilidad (aparentemente los valores de K fueron medidos). Para la porosidad total se asumió el valor 0,15.

El Gráfico I.4 muestra que tanto la fórmula de Kozeny como la de Hazen dan resultados igualmente próximos a los reales y por lo tanto podrían utilizarse con un grado de confiabilidad semejante. Sin embargo, debido a su simplicidad, se acostumbra utilizar la fórmula de Hazen para los cálculos de la permeabilidad.

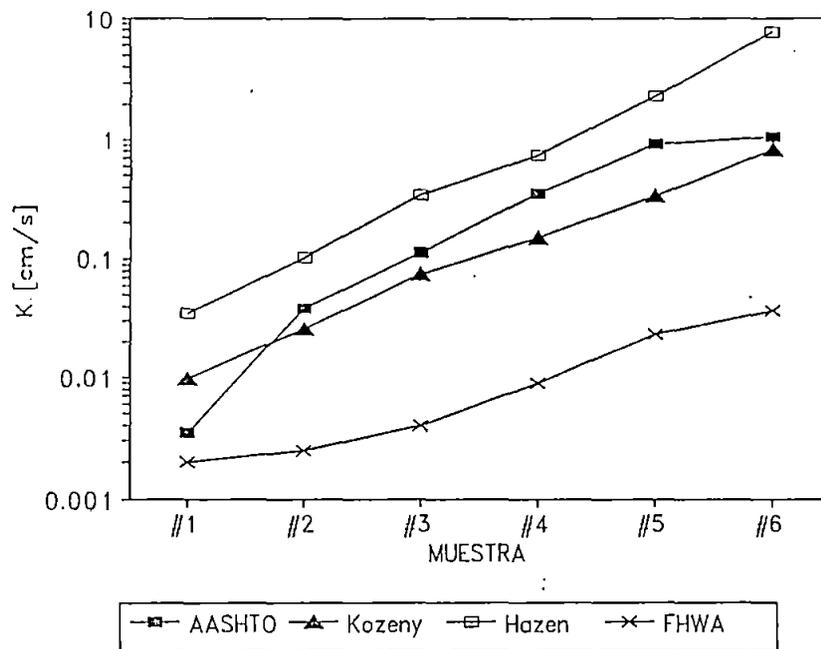


GRAFICO I.4. Comparación de las fórmulas para estimar permeabilidad.

A N E X O I I

TIEMPO DE SATURACION

- Tiempo de Saturación.
- Tasa de Infiltración
- Aplicación del modelo a diferentes secciones
- Modelación de las precipitaciones.
- Resumen de la modelación del Tiempo de Saturación.
- Ejemplo de aplicación del modelo.

TIEMPO DE SATURACION

Para estimar el porcentaje de tiempo del año en que una base presenta un contenido de humedad cercano a la saturación, se diseñó un modelo que entrega la altura de agua en la base conjugando la tasa de infiltración, las características del suelo y la cantidad y distribución de lluvias (Figura II.1).

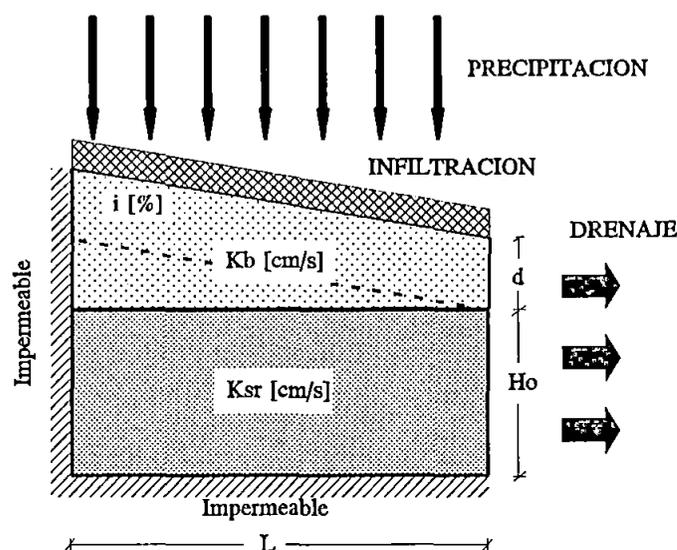


FIGURA II.1. Esquema del modelo Lluvia-Infiltración-Drenaje.

El modelo Lluvia-Infiltración-Drenaje calcula el tiempo que demora en bajar 1 mm el nivel de agua de la base; luego se resta 1 mm. de altura de agua y se agrega el agua correspondiente a lo precipitado en el lapso (la precipitación infiltra completamente en tanto la intensidad sea menor o igual a la tasa de infiltración). Reiterando el procedimiento para un año completo, se calcula el porcentaje de tiempo en que la altura de agua está por sobre el nivel medio de la base, es decir, se establece el Tiempo de Saturación.

En los párrafos siguientes se presentan las modelaciones, hipótesis y simplificaciones que se asumieron para representar adecuadamente la PRECIPITACION, la INFILTRACION y las CARACTERISTICAS DE LA SECCION.

TASA DE INFILTRACION

AASHTO (Ref. 1), propone una fórmula empírica para determinar la tasa de infiltración:

$$Q_i = I_c \left(\frac{N_c}{W} + \frac{W_c}{WC_s} \right) + K_p \quad \left[\frac{ft^3/día}{Área de Pav.} \right]$$

en que:

Q_i : Caudal por unidad patrón de área de pavimento

I_c : Tasa de infiltración de grietas [$ft^3/día/ft^2$]; la Ref. 1 sugiere adoptar $I_c = 2,4$.

N_c : Número de juntas longitudinales que contribuyen. Normalmente se adopta $N_c = N + 1$, donde N es el número de vías de la calzada.

W_c : Longitud de juntas transversales [ft]

WC_s : Espaciamiento entre juntas transversales [ft]

K_p : Permeabilidad de la capa de rodado [$ft/día$] ($K_p = 0$ salvo en casos especiales como mezclas tipo "open graded")

W : Ancho de la base sujeta a infiltración [ft]

En la Ref. 1, se asegura que, aun cuando la expresión es dimensionalmente incorrecta, permite evaluar adecuadamente la tasa de infiltración.

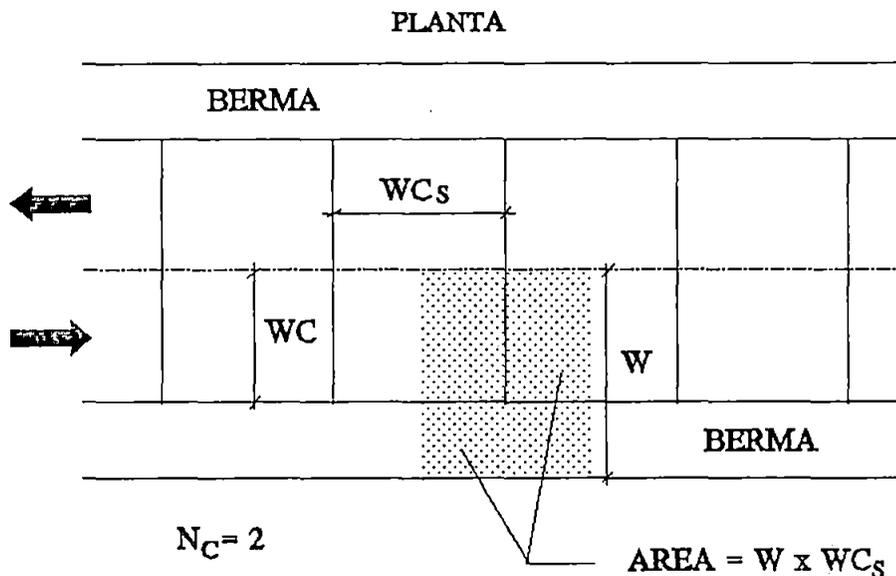


FIGURA II.2. Esquema del modelo de infiltración.

La aplicación de la fórmula expuesta entrega tasas de infiltración extremadamente bajas (del orden de 3 a 4 mm/día) que se contradicen con algunos otros estudios que han analizado el tema (Ref. 2 y 3), sin embargo el procedimiento parece ser adecuado a pesar de las limitaciones que presenta. En todo caso, teniendo en consideración lo detectado en otros estudios, a lo que se agrega que para el país debe normalmente esperarse que el nivel de conservación de los pavimentos sea menor que el de los Estados Unidos, se optó por modelar una situación que se supone sería más real para el país: se considera que en un pavimento de hormigón existen grietas transversales a un espaciamiento medio de 2 m. Esta menor distancia pretende representar tanto juntas normales con un sellado deteriorado como la existencia de grietas transversales que aparecen durante la vida útil del pavimento. (La infiltración por las grietas y juntas longitudinales sería despreciable, según la fórmula adoptada).

Con el modelo modificado, de acuerdo con los dos esquemas que se muestran en las Figuras II.3 y II.4, se obtiene un valor medio de infiltración de 11 mm/día, esto es considerablemente mayor que lo señalado en la Ref. 1, pero aún bastante por debajo de lo que señalan otras publicaciones. En el Anexo III, se analiza la influencia de este parámetro en los espesores de pavimento, comprobándose que la tasa de infiltración tiene alguna influencia para drenajes de calidad "bueno" y "regular" y que no afecta cuando ellos se califican como "excelente", "malo" y "muy malo".

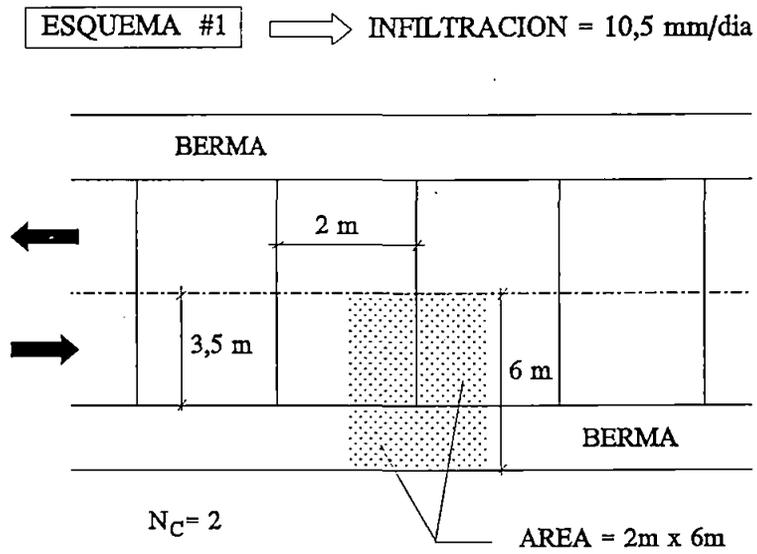


FIGURA II.3. Esquema del modelo de Infiltración aplicado a calzada bidireccional.

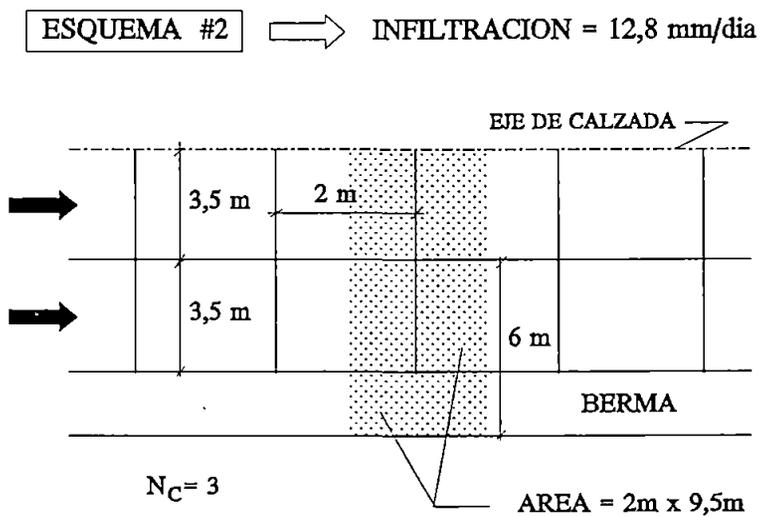


FIGURA II.4. Esquema del modelo de Infiltración aplicado a calzada unidireccional.

APLICACION DEL MODELO A DIFERENTES SECCIONES

La simulación del proceso Lluvia-Infiltración-Drenaje con el modelo propuesto, implica que necesariamente deben incorporársele las características geométricas y algunas propiedades del suelo a drenar. Surge, en consecuencia, la interrogante sobre como varían los tiempos de drenaje para diversos grados de saturación, al modificarse las características de la sección.

Afortunadamente se verificó (Tabla II.1) que para secciones que tienen tiempos de drenajes (T_{50}) similares, la variación de estos parámetros influye muy poco en los tiempos de drenaje para diversos grados de saturación. Esto permite disminuir el número de variables con que se debe trabajar y simplifica substancialmente la obtención de resultados.

	CARACTERISTICAS DE LA SECCION			
	S.TIPO	S.1	S.2	S.3
Ancho [cm]	600	900	400	1100
Espesor [cm]	15	20	25	20
Porosidad [nc]	0,12	0,09	0,14	0,12
Pendiente [%]	2	3	2,5	2
Alt. Subr. [cm]	50	50	50	100
K base [cm/s]	1E(-3)	1E(-3)	5E(-4)	1E(-3)
K subr. [cm/s]	1E(-4)	1E(-5)	1E(-4)	3E(-4)
T10 [días]	1,552	1,602	1,459	1,669
T20 [días]	3,267	3,350	3,110	3,458
T30 [días]	5,174	5,266	4,995	5,383
T40 [días]	7,306	7,374	7,170	7,459
T50 [días]	9,707	9,706	9,708	9,708
T60 [días]	12,432	12,229	12,713	12,153
T70 [días]	15,552	15,199	16,333	14,823
T80 [días]	19,163	18,465	20,789	17,756
T90 [días]	23,392	22,170	26,434	20,996
T100 [días]	23,418	26,409	33,863	24,599

TABLA II.1.

Se presentan los tiempos de drenaje para diversos grados de saturación, en una sección considerada como tipo y otras tres de características diferentes.

Como el vaciado de secciones con T_{50} iguales son similares, ellos son independientes de las características de la sección. Aprovechando esta condición, el modelo implementado determina, mediante aproximaciones sucesivas, cual es la combinación de permeabilidades de la base y la sub-rasante que mejor satisface un T_{50} dado. Los valores de K así determinados, permiten calcular los tiempos de vaciado para diferentes grados de saturación, considerando siempre las características de la sección tipo.

MODELACION DE LAS PRECIPITACIONES

Como el modelo Lluvia-Infiltración-Drenaje calcula los cambios en la altura de agua de la base en el intervalo de tiempo que se demora en drenar el volumen equivalente a una altura de 1 mm, lo ideal sería distribuir la lluvia media anual en intervalos de tiempo menor o igual a éste. Sin embargo, como existen pocos registros de lluvias horarias a lo largo del país, se debió optar por distribuir las lluvias medias anuales en lluvias mensuales y luego en lluvias diarias. Esto se realizó para nueve zonas a lo largo del país.

La distribución mensual se obtuvo a través de los promedios observados en la estadística (de 8 a 20 años) de estaciones ubicadas en ciudades importantes de estas zonas (Tabla II.2).

	LATITUD	ESTACION
ZONA 1	30	LA SERENA
ZONA 2	32	SANTIAGO
ZONA 3	34	CURICO
ZONA 4	36	CHILLAN
ZONA 5	38	TEMUCO
ZONA 6	40	VALDIVIA
ZONA 7	42	PUERTO MONTT
ZONA 8	46	PUERTO CISNES
ZONA 9	54	PUNTA ARENAS

TABLA II.2 Estaciones usadas para calcular la distribución mensual.

Una vez definida la distribución mensual (Gráficos II.1 al II.9), la distribución diaria se obtuvo a través de la modelación realizada en la Ref. 3, la que relaciona el número de días con precipitaciones de intensidad mayor que 5 mm/día con la latitud y la precipitación media mensual de la zona, a través de la siguiente ecuación (el ajuste se logró con un coeficiente de correlación de 0,992):

$$N_5 = \frac{(LAT)^{7,4} 10^{-11}}{21} \frac{180}{\pi} \text{Arctg}\left(\frac{P}{14 \pi (LAT)^{7,4} 10^{-11}}\right)$$

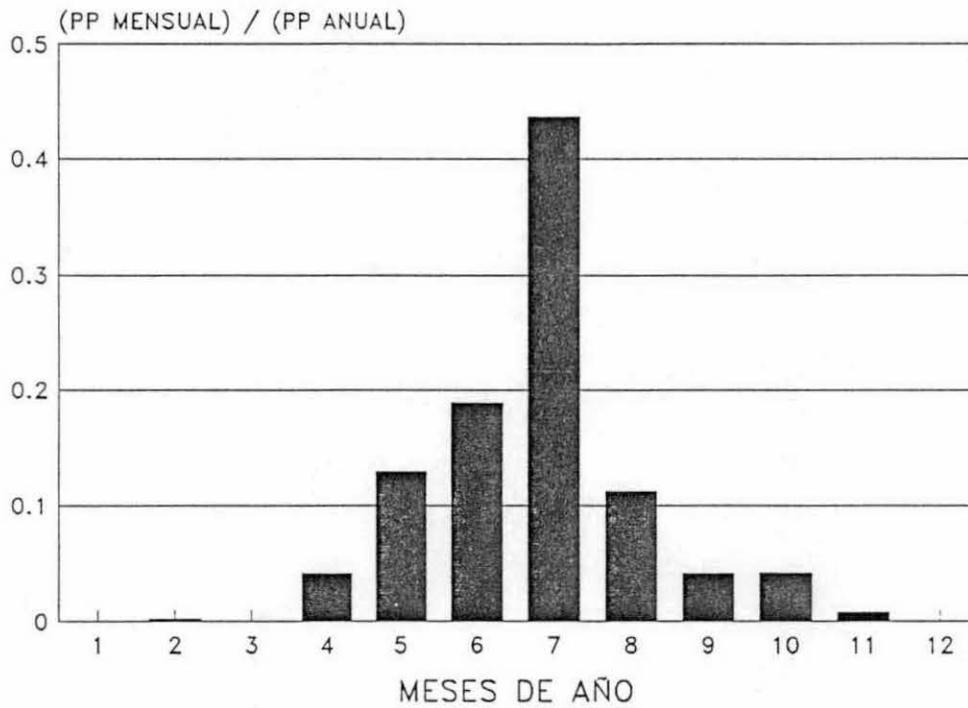
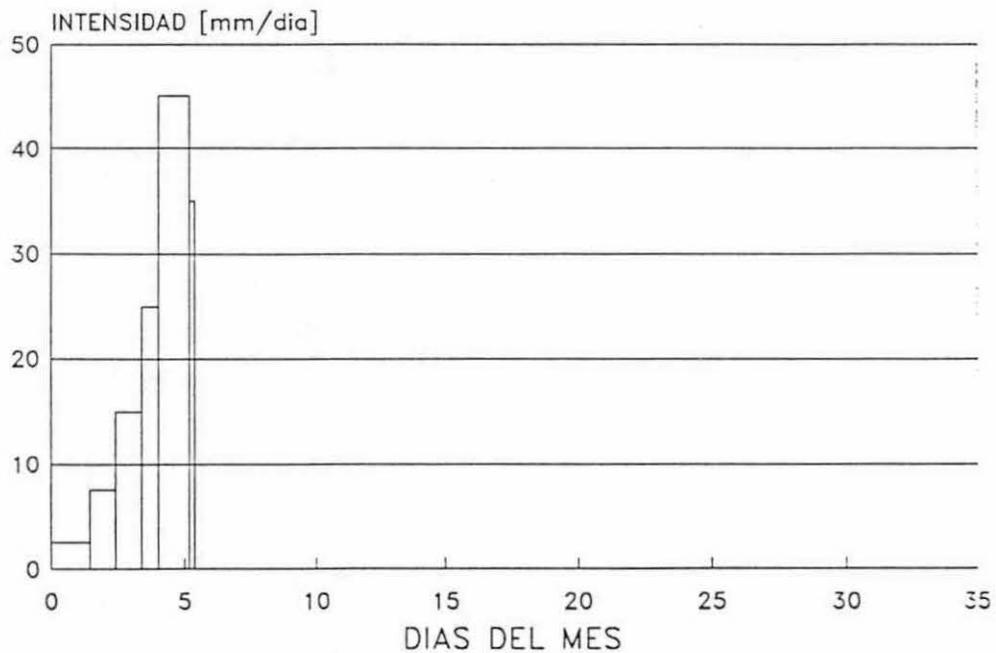
Además, en la misma Ref. 3 se muestran relaciones lineales entre el número de días del mes que llueva con intensidad mayor que 5 mm/día y los días que llueva con intensidad mayor que 0,1, 10, 20, 30 y 40 mm/día.

Finalmente, la distribución en el mes se realizó calculando la duración (en días) de 6 bloques de lluvia con intensidades de 2,5; 7,5; 15; 25; 35; y 45 mm/día, respectivamente. Dichos bloques fueron distribuidos en el mes, de manera que los tiempos de saturación obtenidos con distribuciones reales de lluvias (años reales) fueran similares a los tiempos de saturación obtenidos por la modelación de los bloques de lluvias (Gráficos II.10 al II.18).

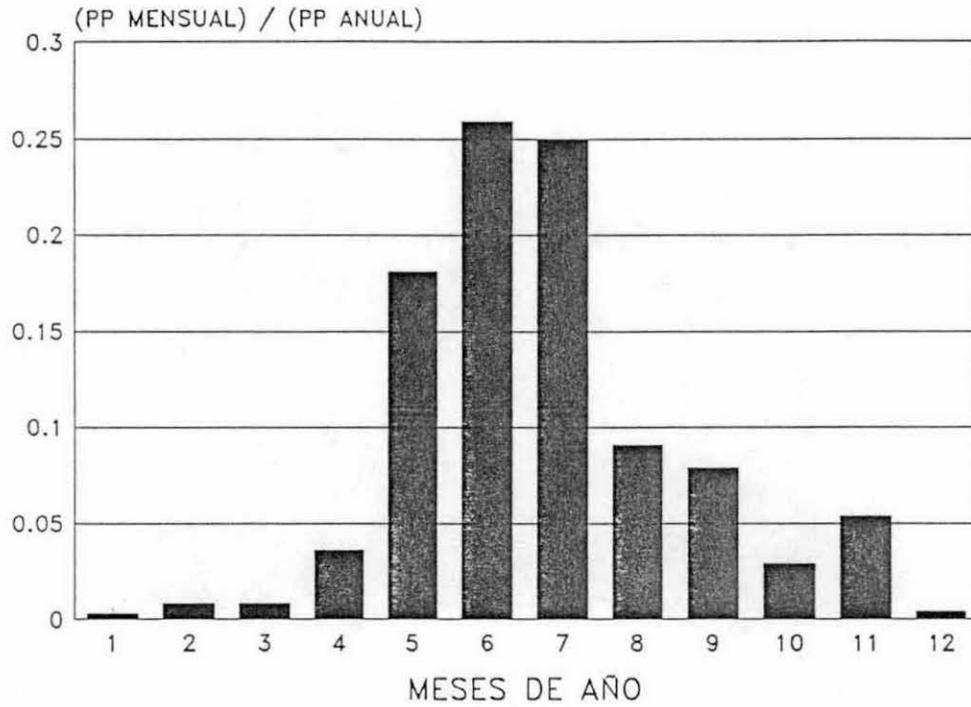
En los Gráficos II.1 al II.9 se detallan tanto las distribuciones mensuales adoptadas como la modelación y distribución de los bloques de lluvias que se obtuvieron para cada zona.

GRAFICO II.1

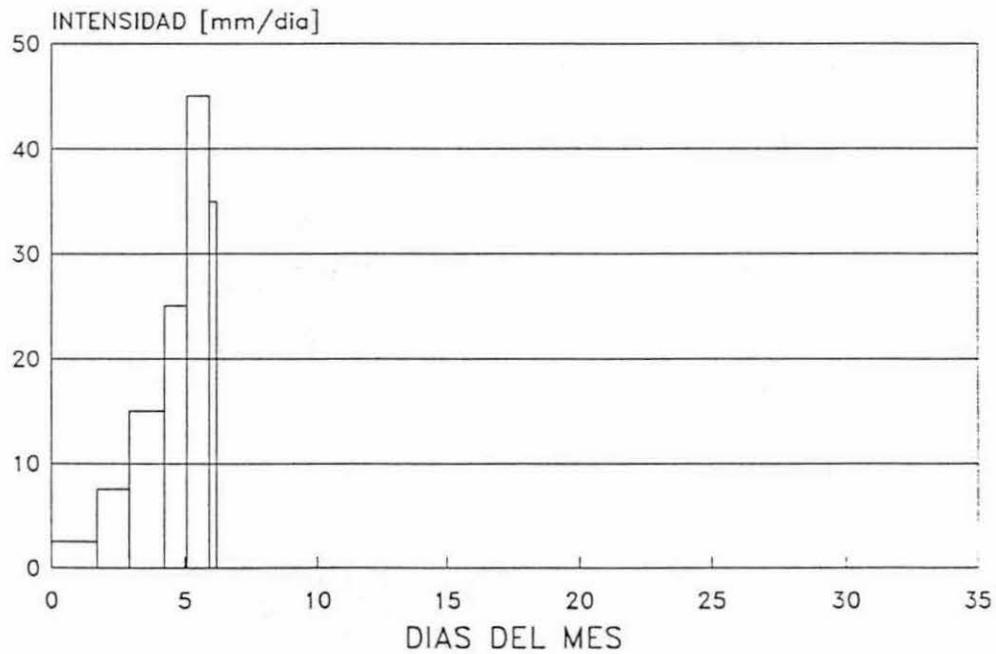
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 30

DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 30
PRECIPITACION = 100 mm

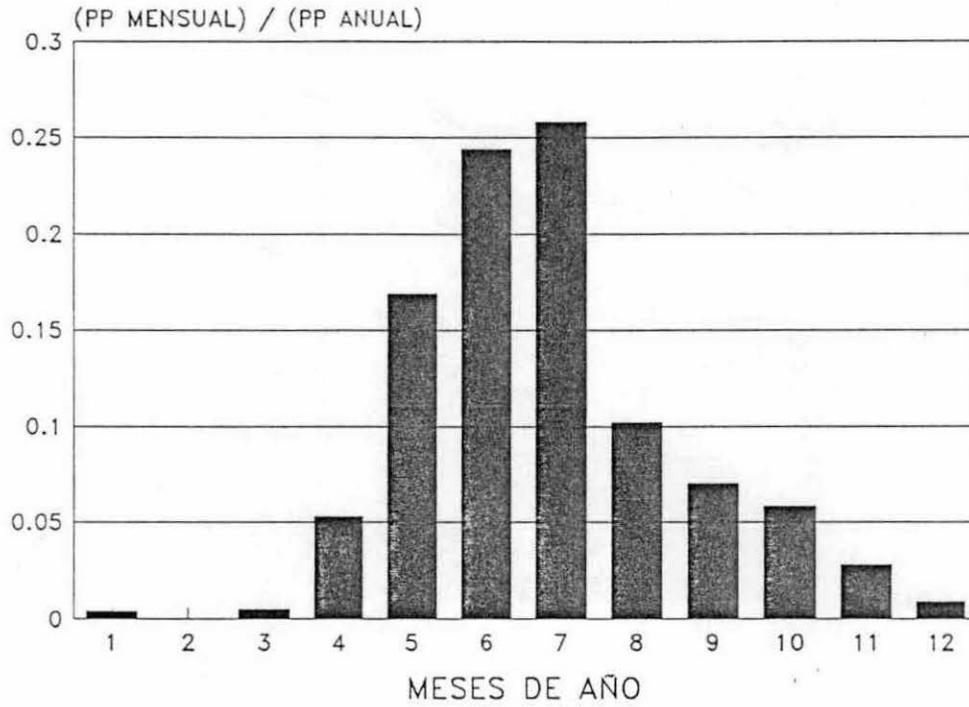
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 32



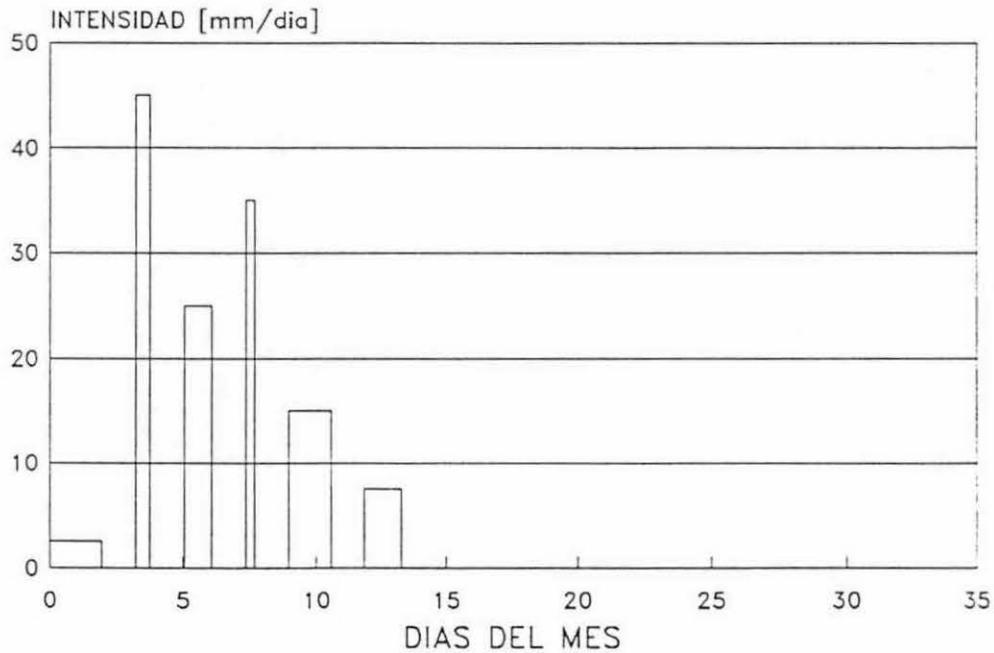
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 32
PRECIPITACION = 100 mm



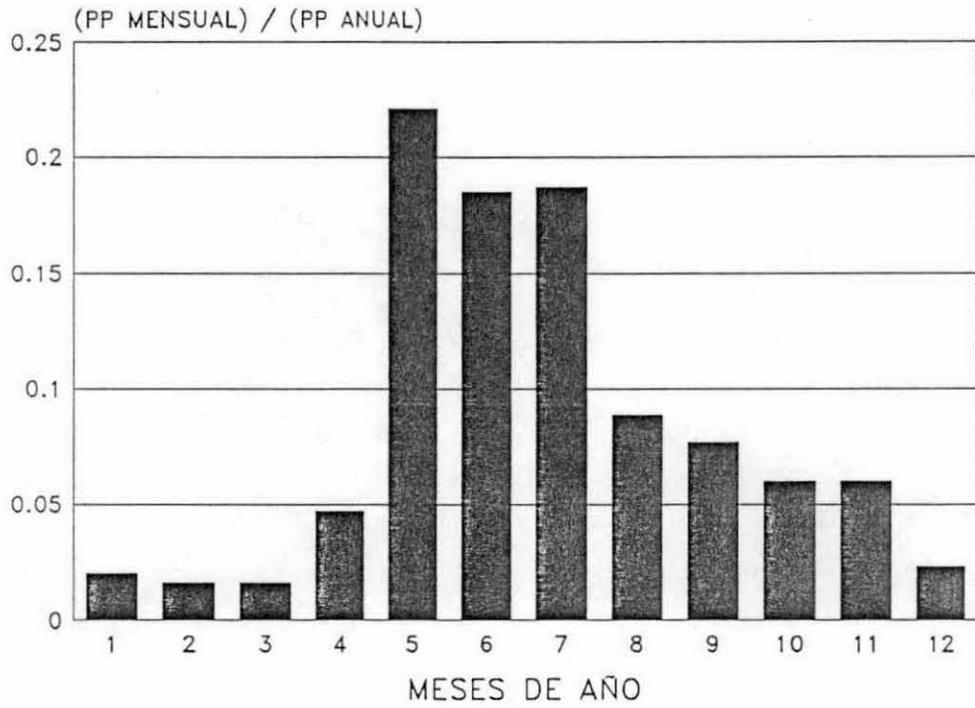
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 34



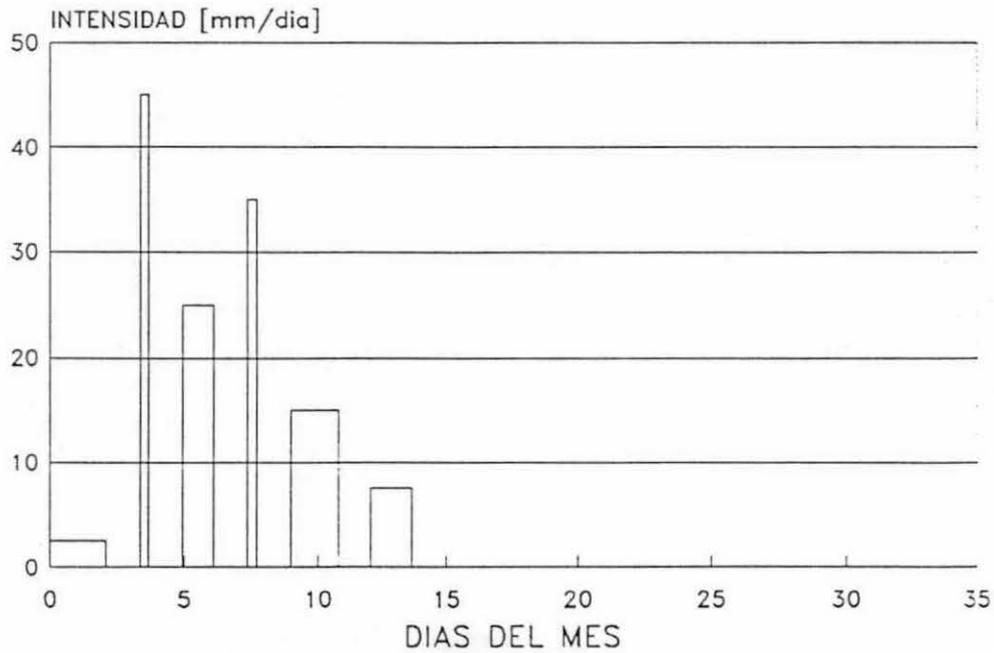
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 34
PRECIPITACION = 100 mm



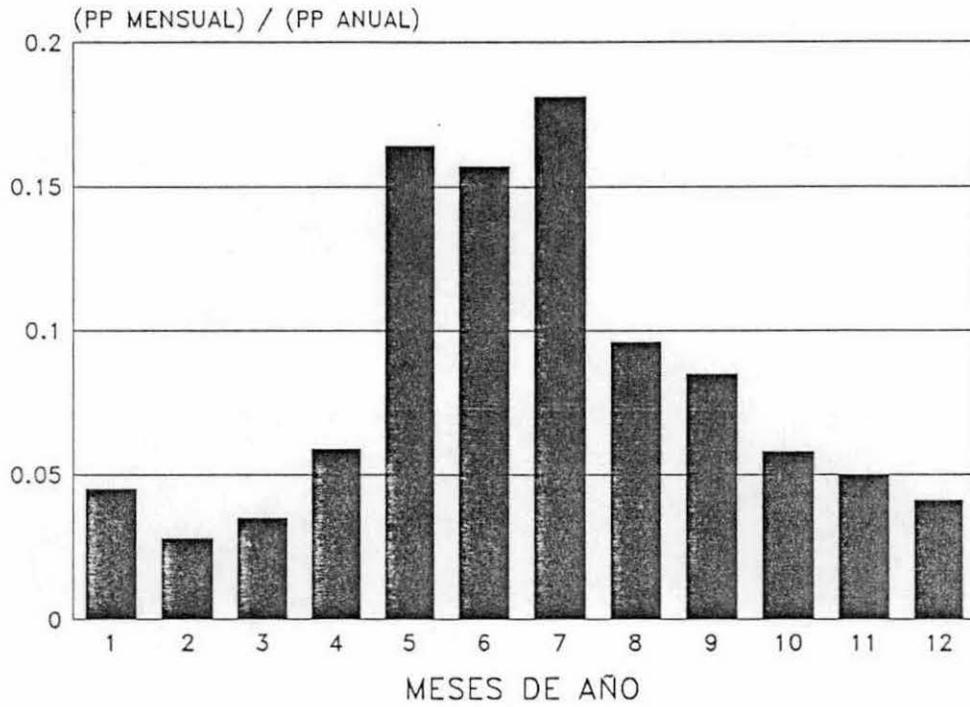
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 36



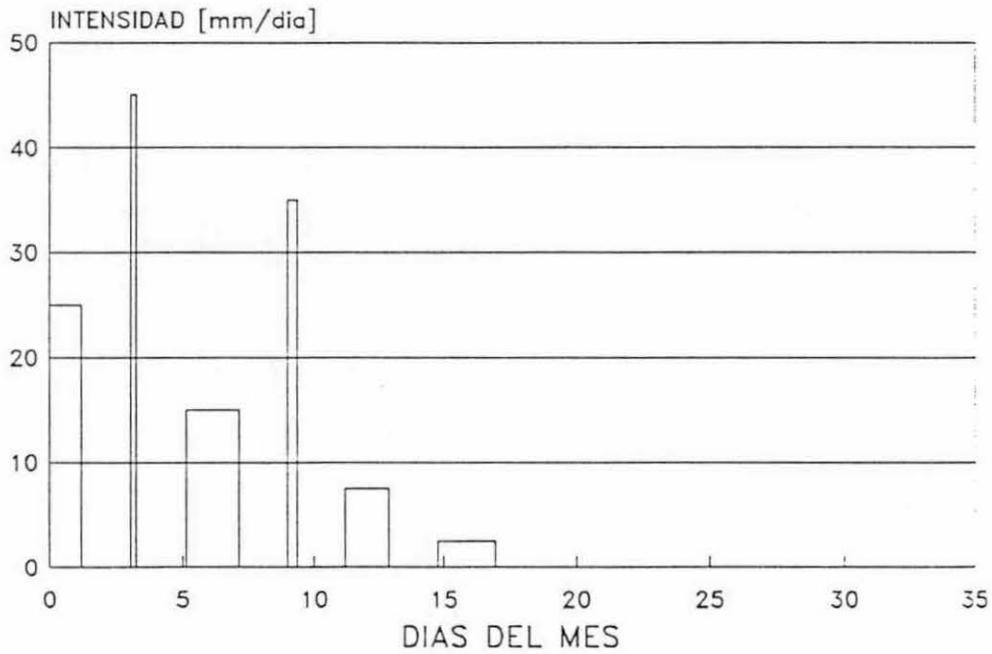
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 36
PRECIPITACION = 100 mm



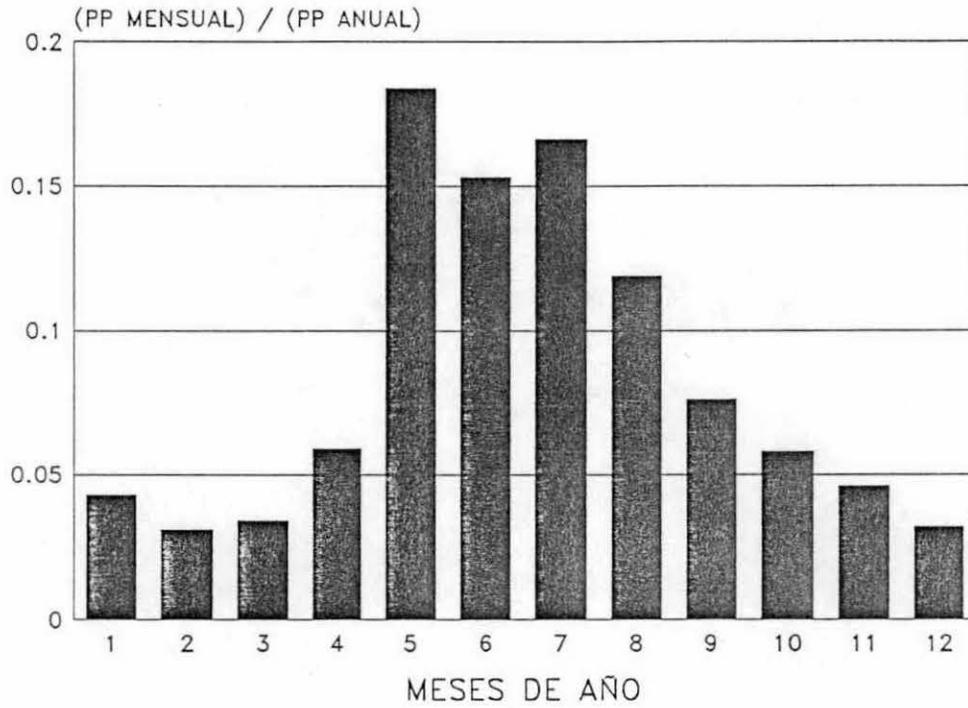
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 38



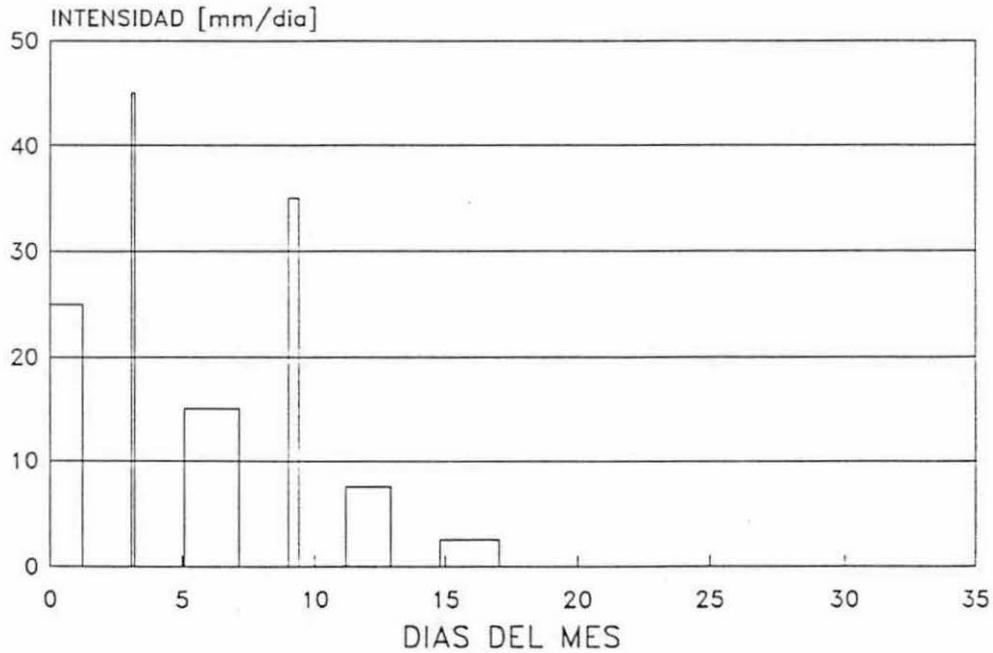
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 38
PRECIPITACION = 100 mm



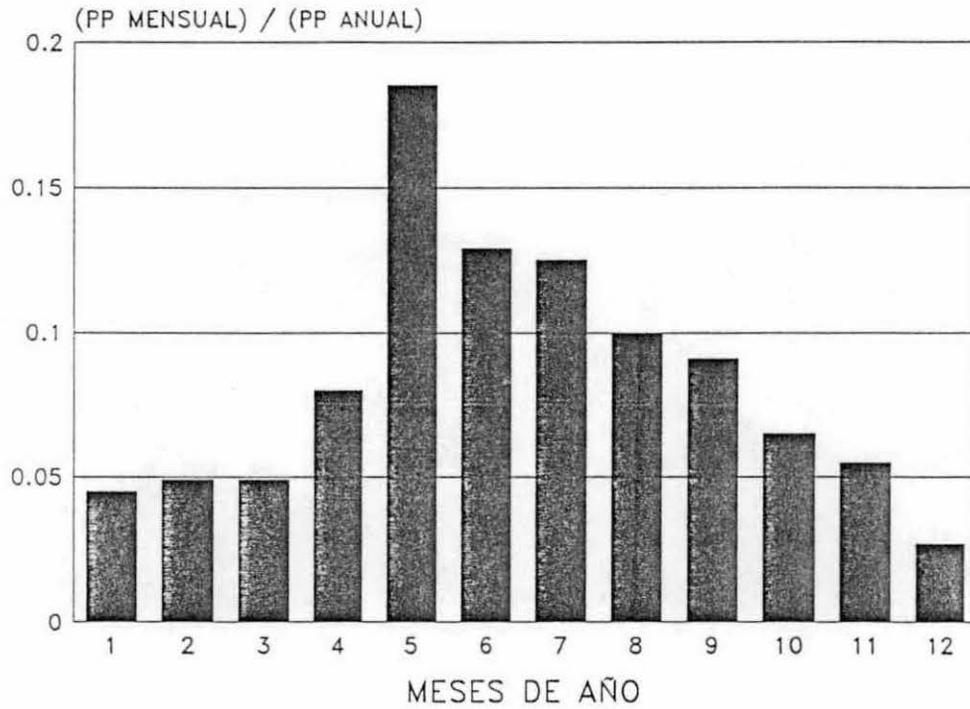
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 40



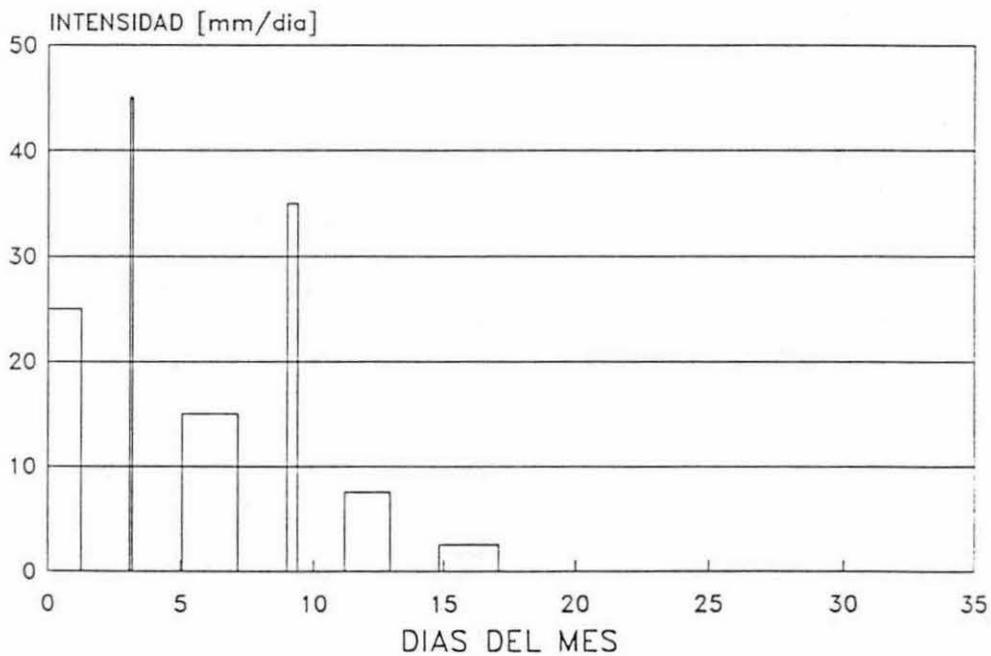
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 40
PRECIPITACION = 100 mm



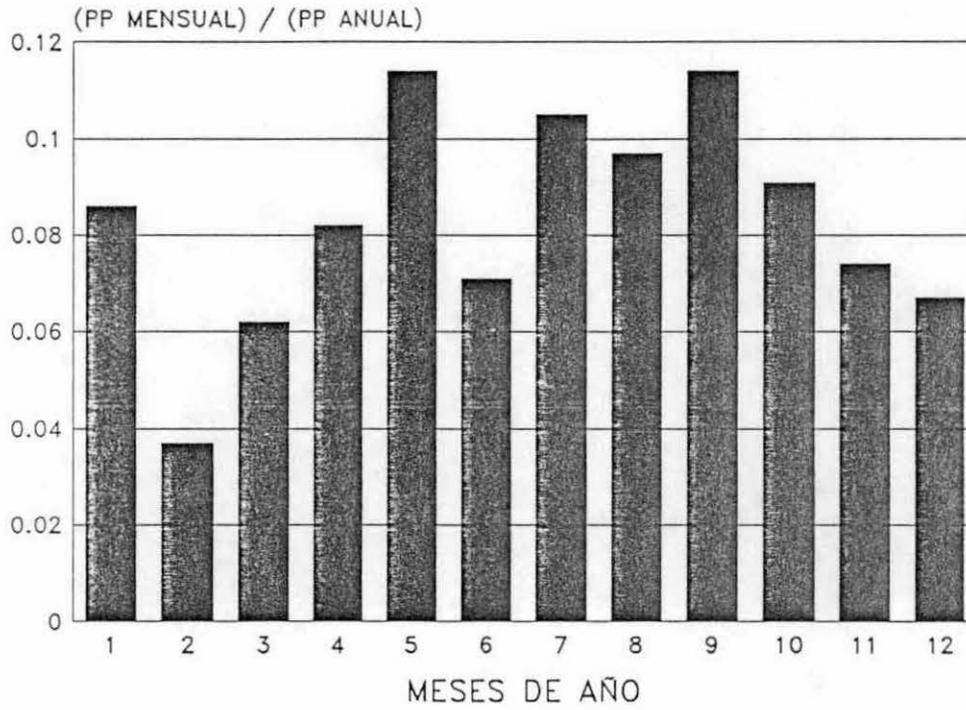
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 42



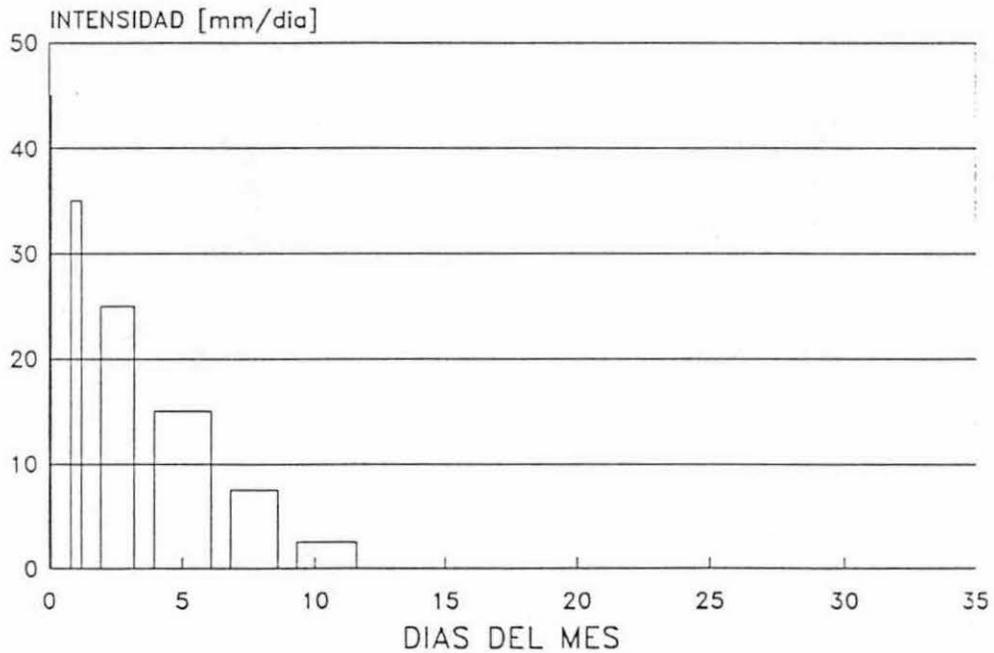
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 42
PRECIPITACION = 100 mm



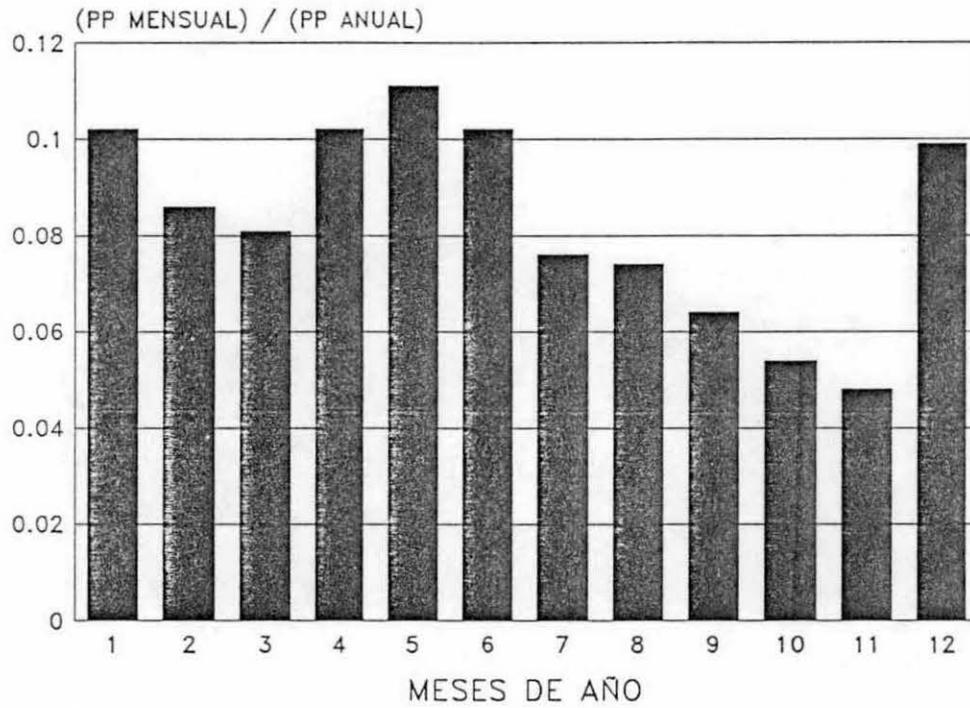
DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 46



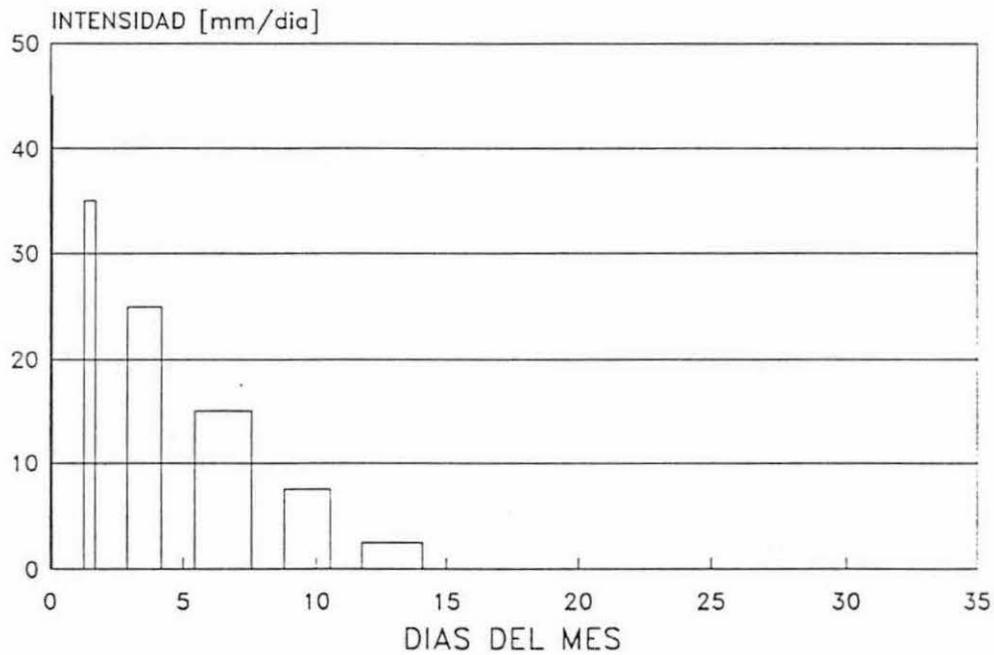
DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 46
PRECIPITACION = 100 mm



DISTRIBUCION ANUAL - LATITUD = 54

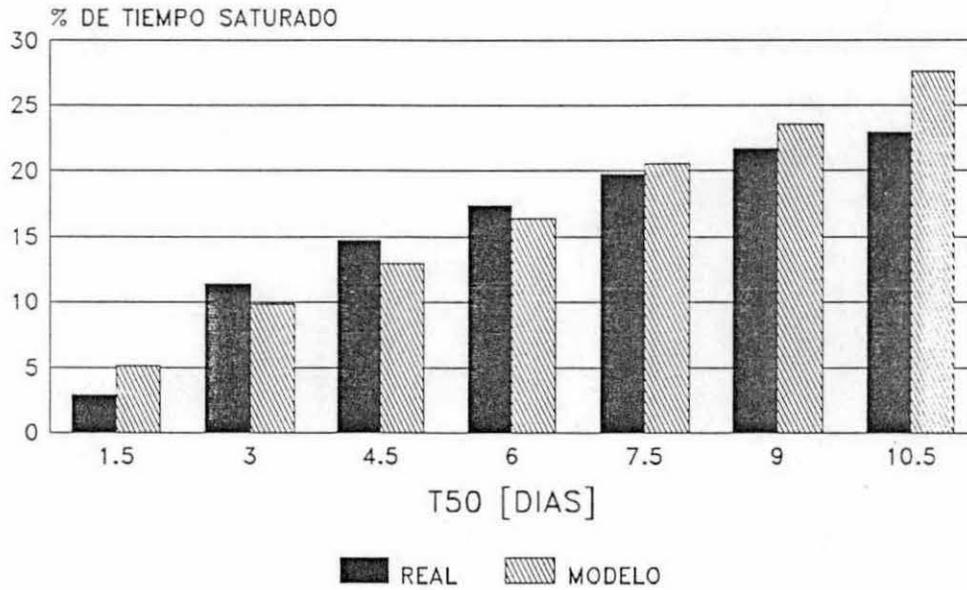


DISTRIBUCION MENSUAL - LATITUD = 54
PRECIPITACION = 100 mm



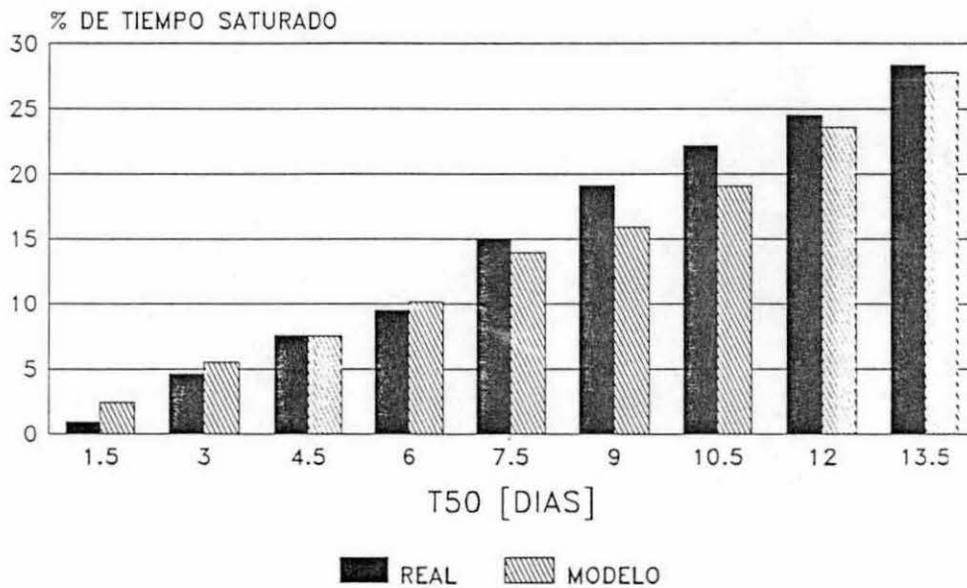
PIRQUE - 1989

PP = 464,3 mm



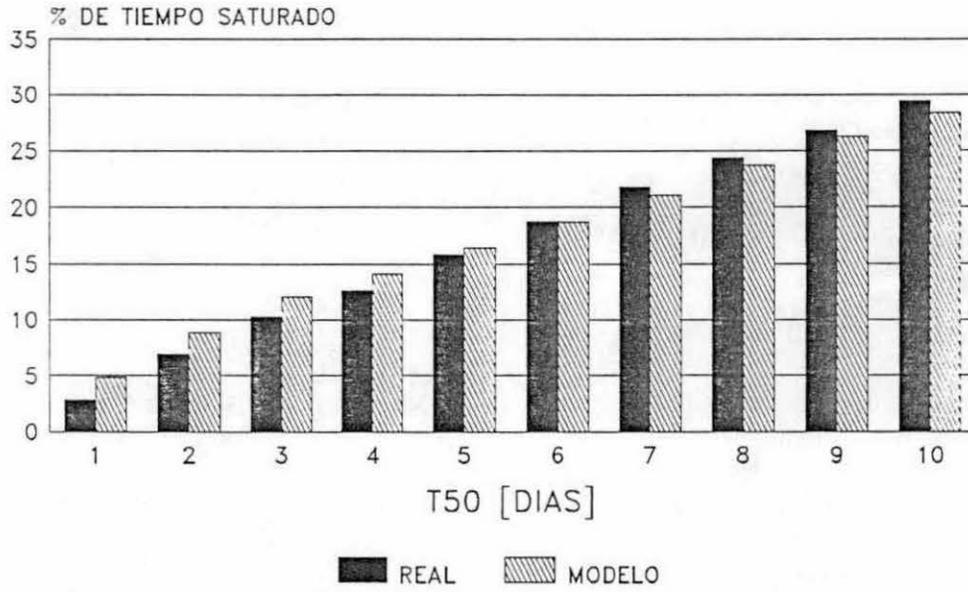
PIRQUE - 1990

PP = 250,1 mm



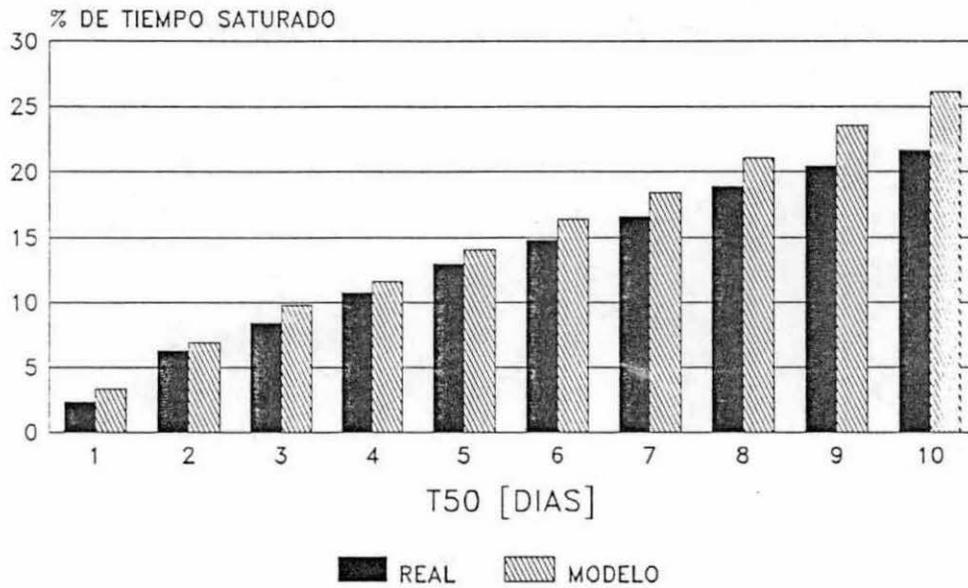
PIRQUE - 1991

PP = 611,4 mm



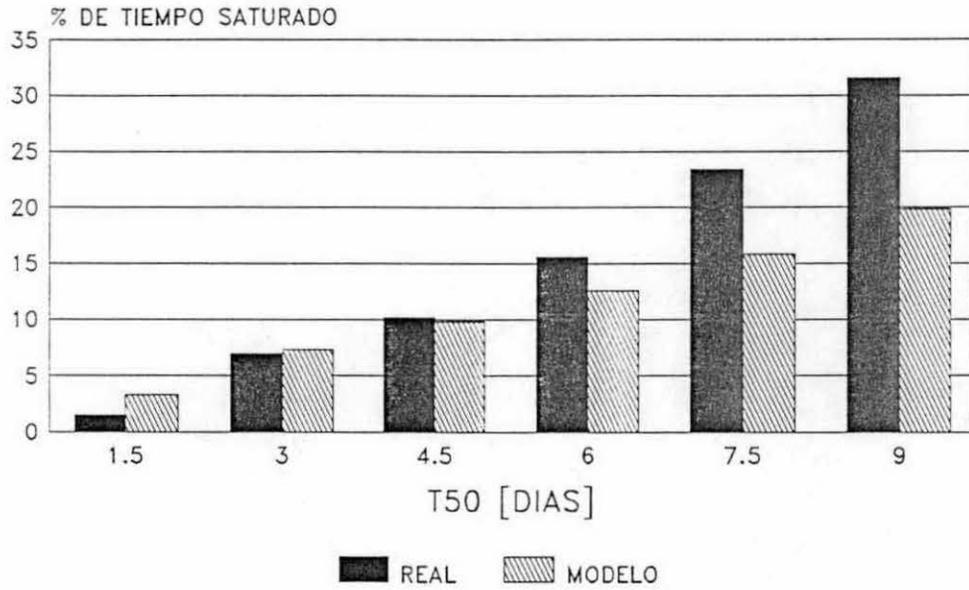
EL YESO - 1989

PP = 462 mm



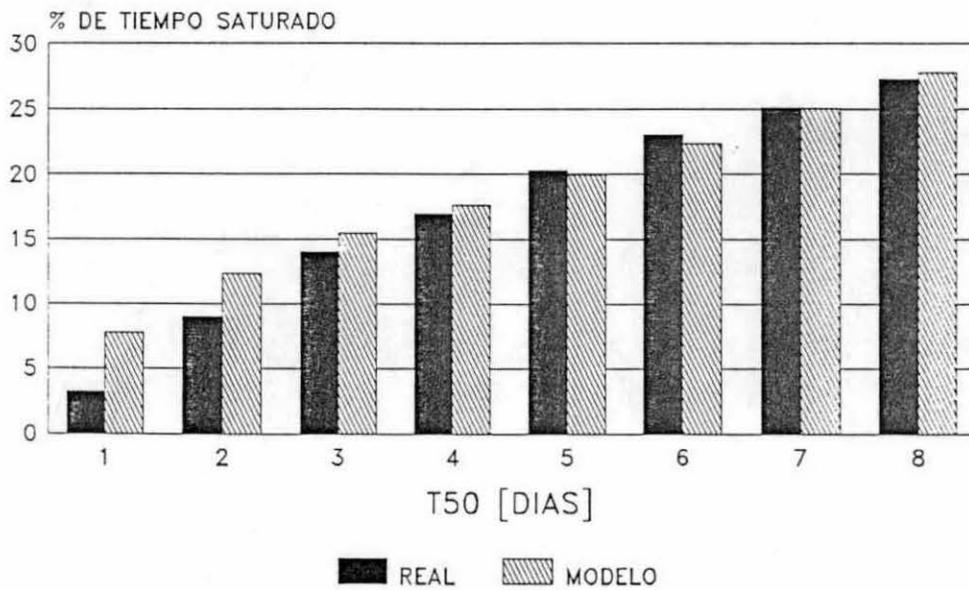
EL YESO - 1990

PP = 325 mm



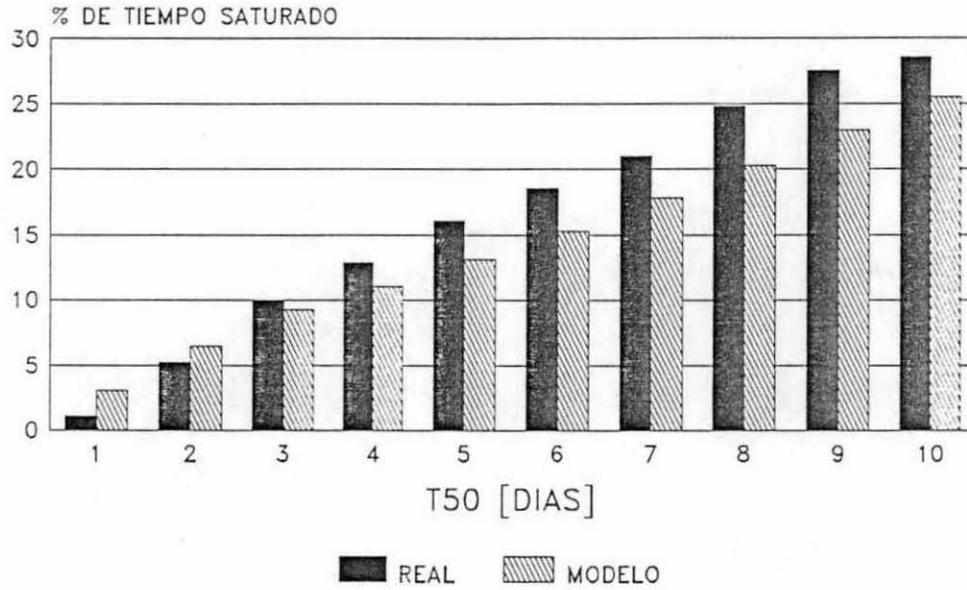
EL YESO - 1991

PP = 928,5 mm



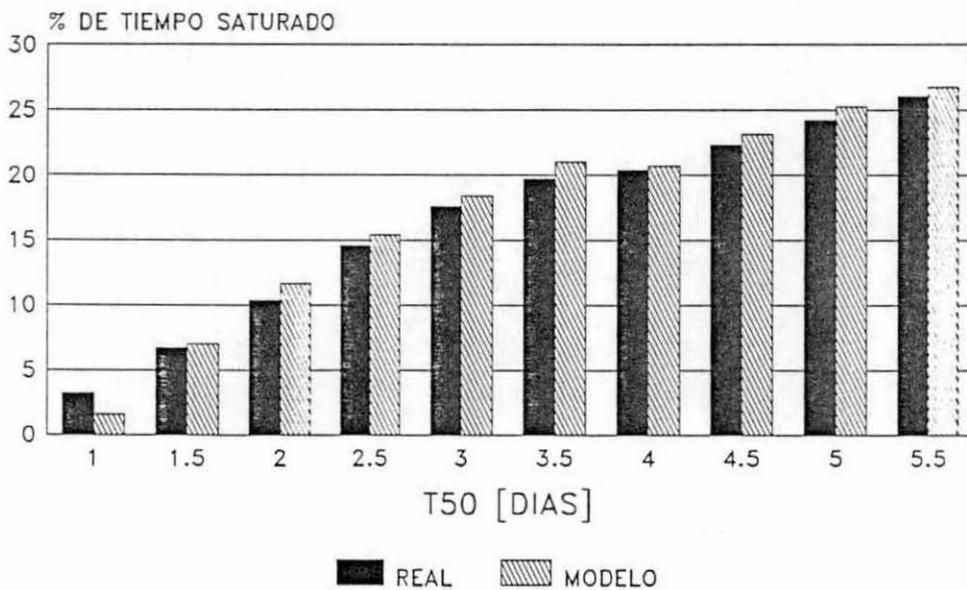
CURICO - 1989

PP = 433,5 mm



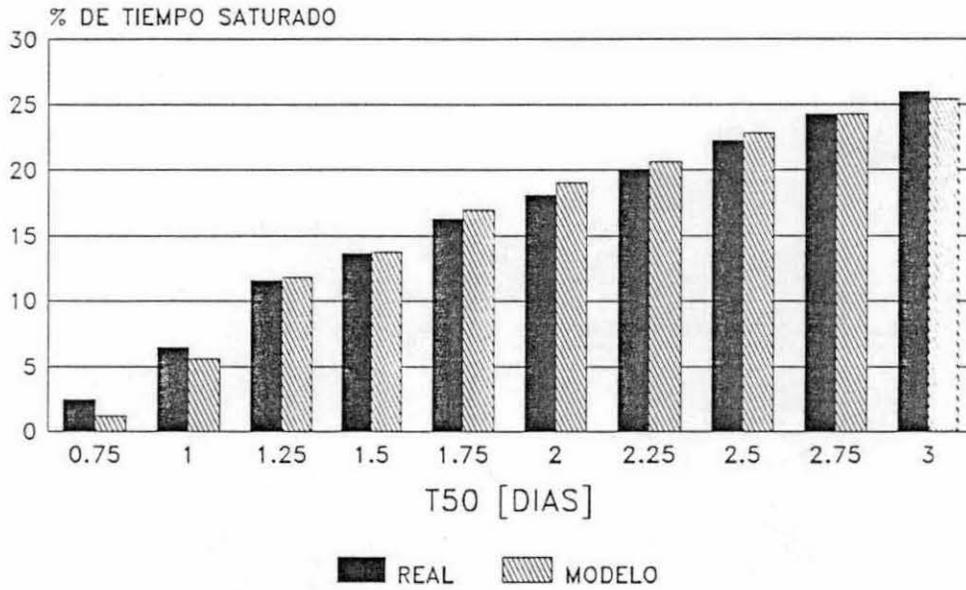
CHILLAN - 1989

PP = 786,6 mm



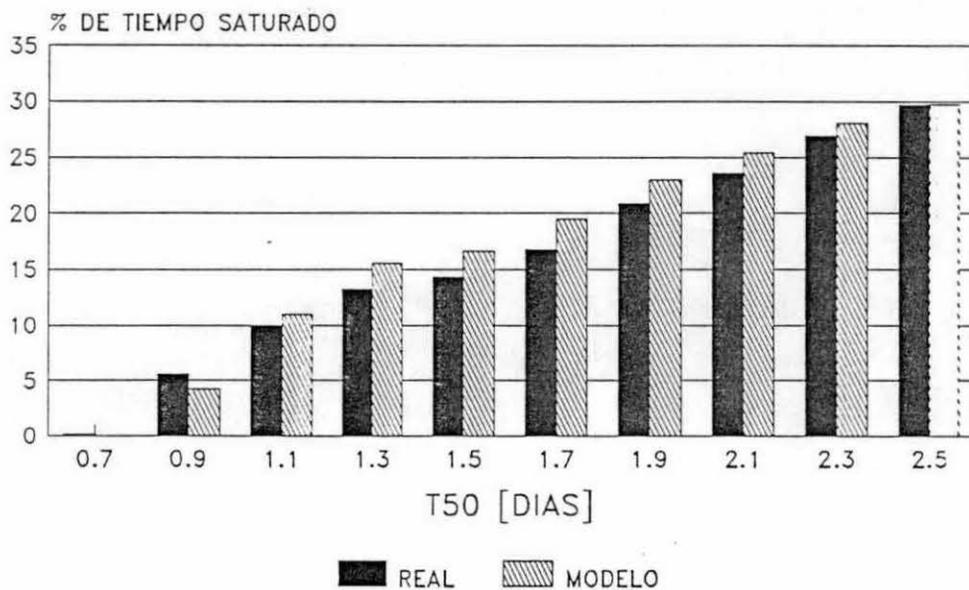
CHILLAN - 1991

PP = 1190,2 mm



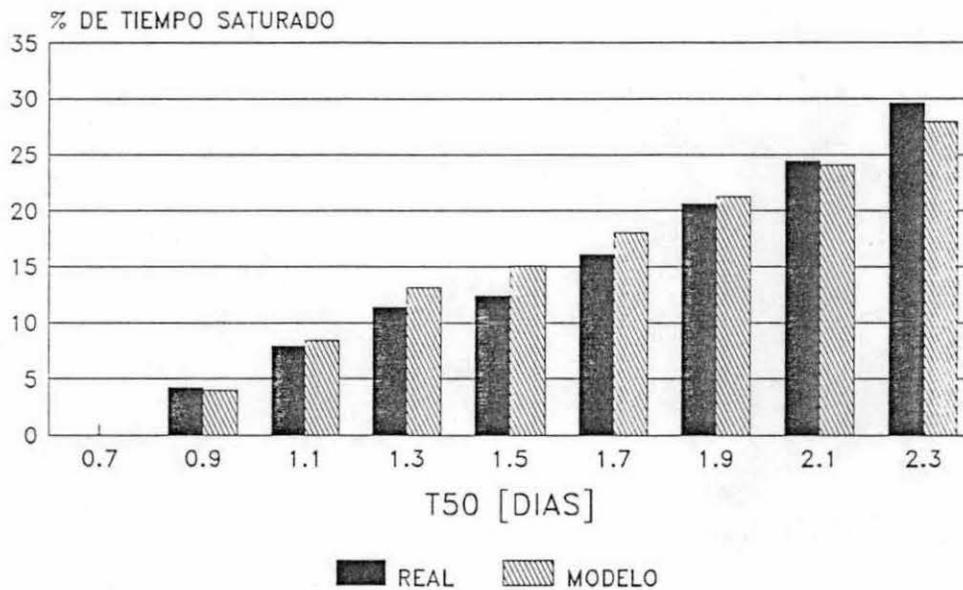
LOS ANGELES - 1986

PP = 1385 mm



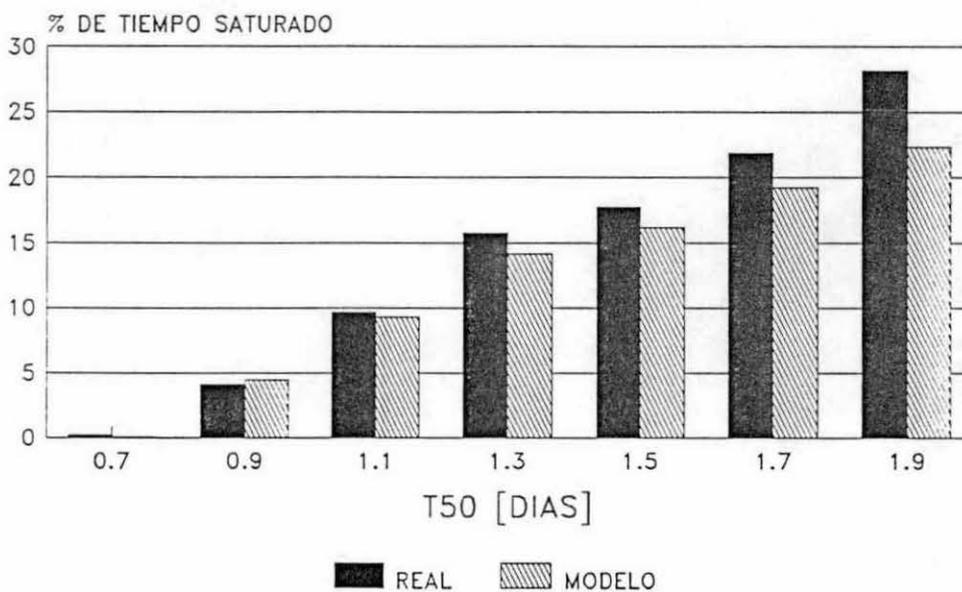
ADOLFO MATTHEI - 1990

PP = 1306,2 mm



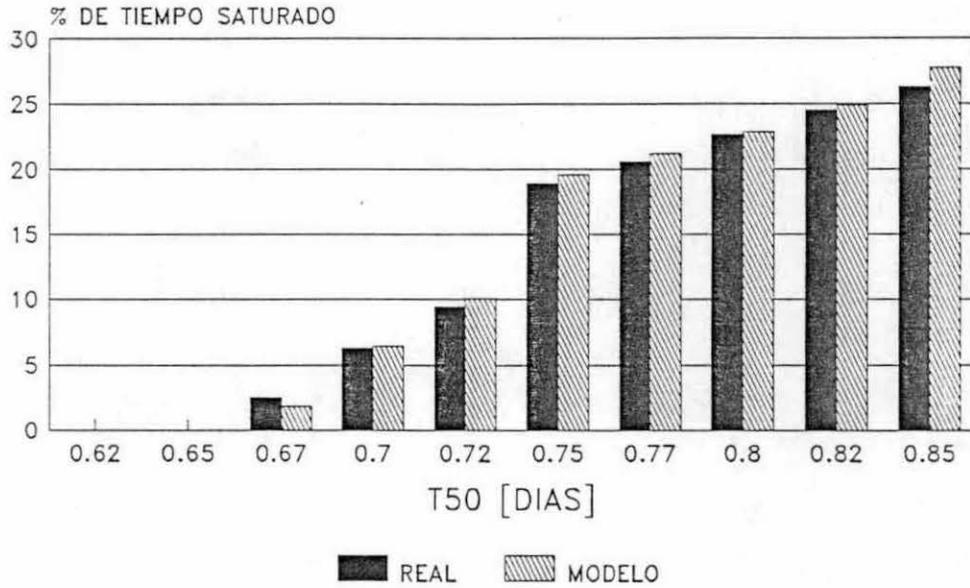
ADOLFO MATTHEI - 1991

PP = 1365 mm



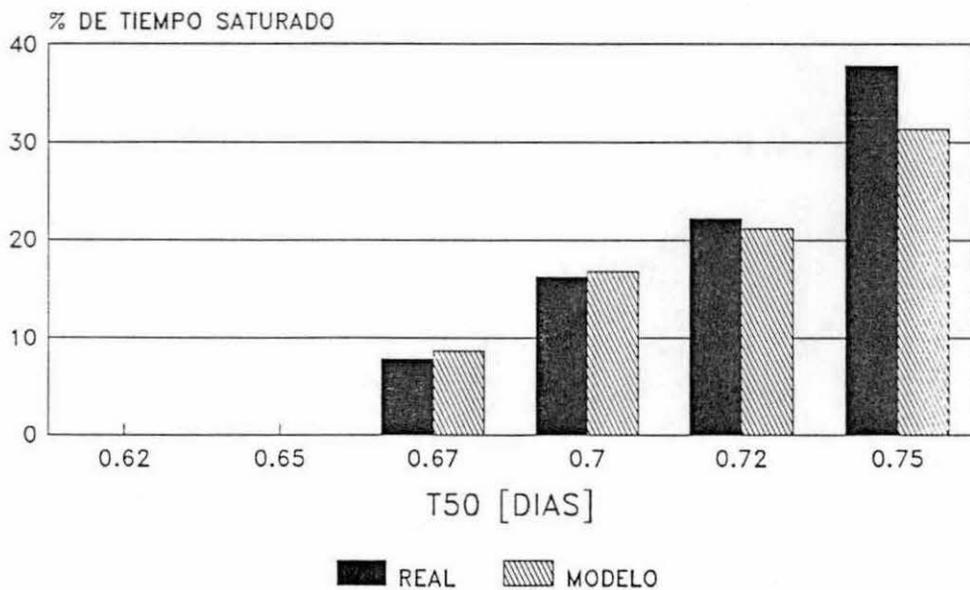
CHACABUCO - 1989

PP = 2959 mm



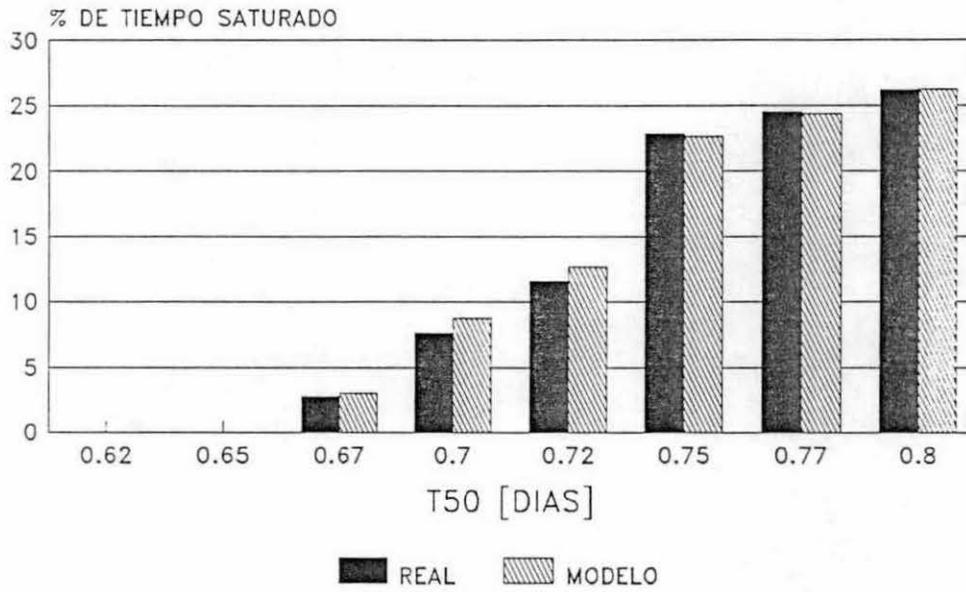
CHACABUCO - 1990

PP = 3874,4 mm



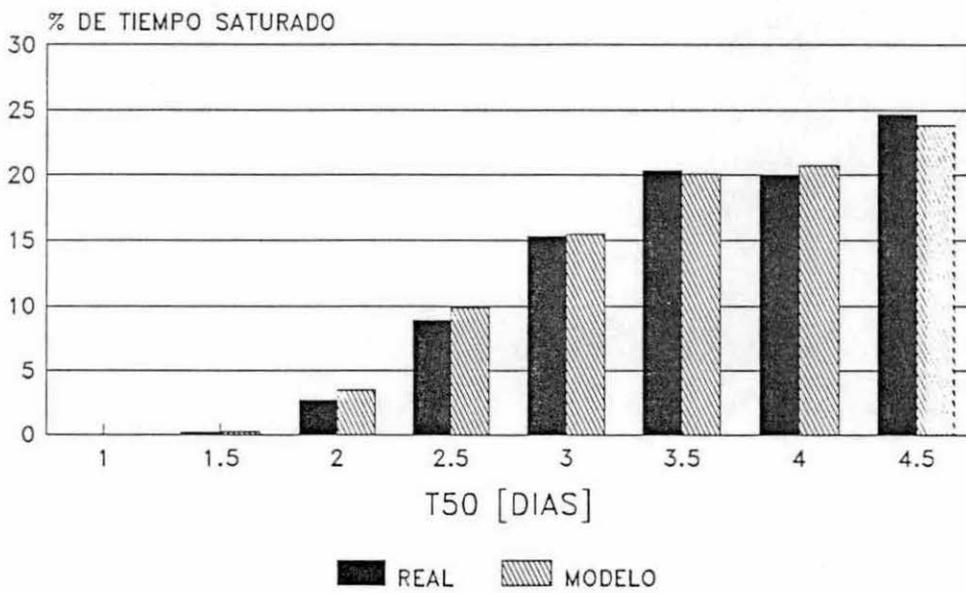
CHACABUCO – 1991

PP = 3197,1 mm



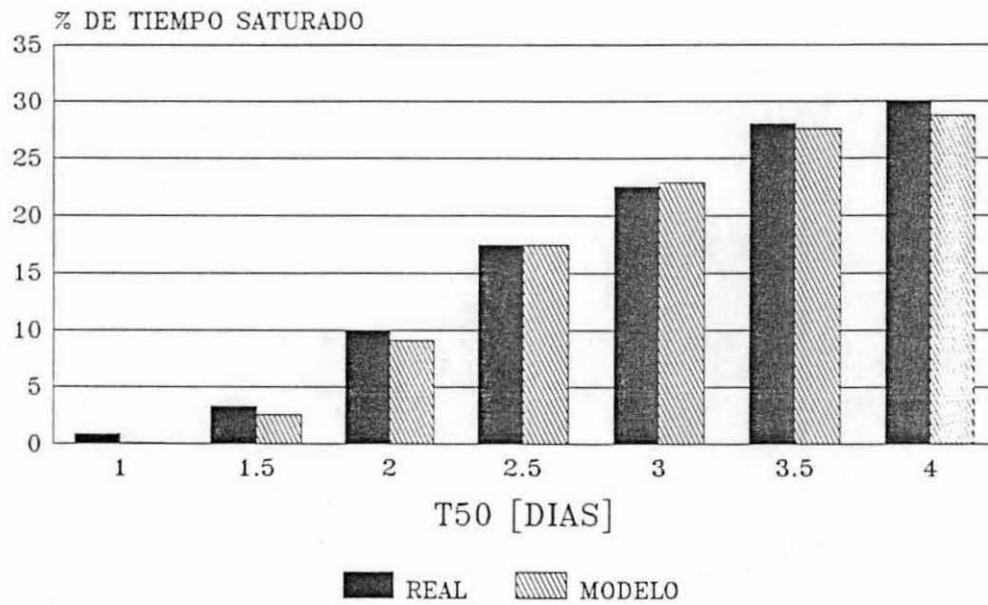
PUNTA ARENAS – 1989

PP = 497,4 mm



PUNTA ARENAS - 1990

PP = 647,1 mm



- **RESUMEN DE LA MODELACION DEL TIEMPO DE SATURACION**

* **DATOS DE INGRESO**

- Precipitación Media Anual [mm]
- Tiempo de Drenaje -> T_{50} [días]
- Latitud {30, 32, ... , 44, 52}

* **PROCEDIMIENTO**

- 1) Se distribuye la precipitación anual en los meses de acuerdo a la Latitud. (Gráficos II.1 al II.9)
- 2) Se determina la duración de los bloques de lluvia en los meses de acuerdo a la latitud y se distribuye según la zona, en los días del mes (Gráficos II.1 al II.9). Para la distribución se comparan los tiempos de saturación de lluvias diarias reales con los tiempos predichos por el modelo (Gráficos II.10 al II.18).
- 3) A partir del T_{50} se determinan K_B y K_{SR} de manera que el T_{50} se represente con dichas permeabilidades con las características de la estructura tipo.
- 4) Se utiliza la infiltración máxima según fórmula **AASHTO**.

$$I_o = 11 \text{ mm/día}$$

- 5) Se simula el año normal efectuando el siguiente procedimiento por bloques:
 - a) Tiempo para Drenar una Altura de 1 mm de la Base.
 - b) Al final de dicho tiempo se suma la altura de lluvia infiltrada en dicho tiempo.

CONDICIONES DE BORDE: (H= Altura de la Napa)

Si $H=0$ -> Se analiza el cambio cada 0,5 Hrs.

Si $H > 15$ -> $H=15$

- 6) Se generan gráficos T_{50} vs. Pp. Media Anual que entregan el Tiempo de Saturación para las nueva zonas estudiadas. Se eliminan gráficos que presentan información similar y se obtienen los gráficos N°6 al N°11.

EJEMPLO DE APLICACION DEL MODELO

Con el propósito de explicar mejor el funcionamiento del modelo Lluvia-Infiltración-Drenaje, se presenta una comparación entre la modelación con distribución de lluvia real y con distribución de lluvia teórica. Para esto se aplica el modelo al año 1986 de la estación de Los Angeles y se entregan gráficos que señalan los cambios en la altura de agua de la base:

- El Gráfico II.19 señala la distribución de la lluvia anual en los meses.
- Los Gráficos II.20 y II.21 señalan el nivel de agua en la base para la lluvia de 1986 con la distribución real y con la distribución teórica, respectivamente.
- Los Gráficos II.22 y II.23 señalan el nivel de agua en la base para la lluvia de Abril de 1986 con la distribución real y con la distribución teórica, respectivamente.

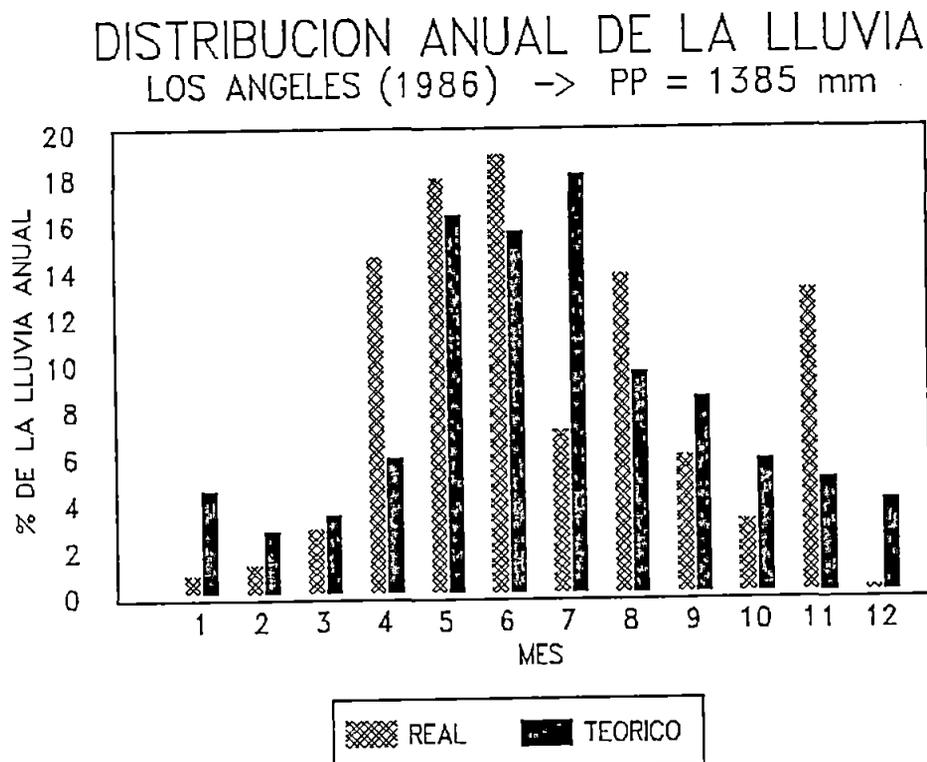


GRAFICO II.19

ESTACION LOS ANGELES - 1986

TIEMPO DE SATURACION REAL = 22, 19 %

T50 = 2 DIAS PP = 1385 mm

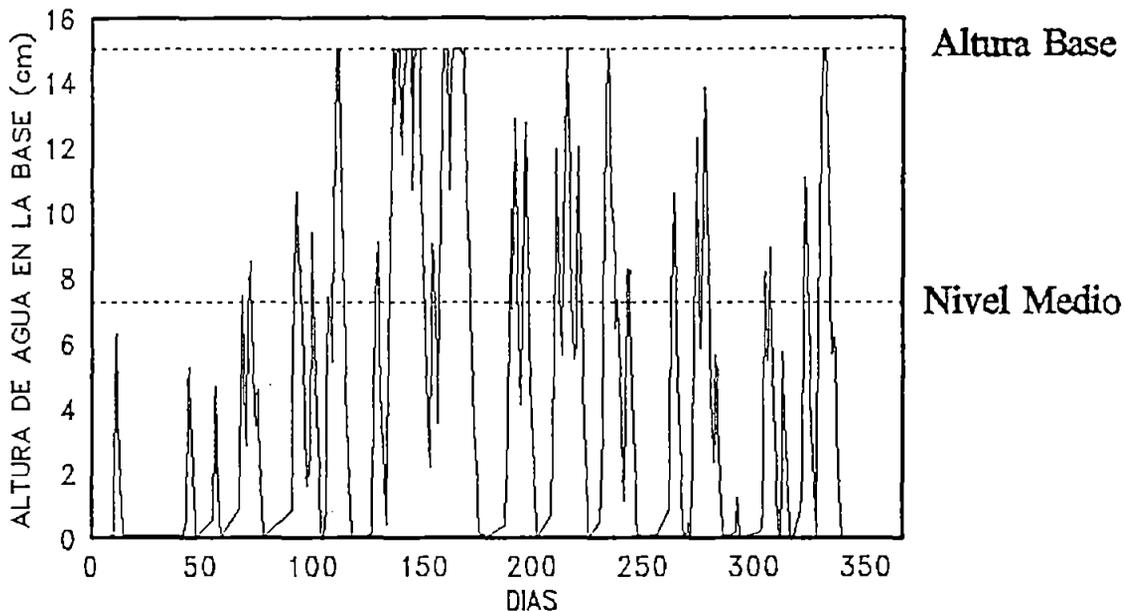


GRAFICO II.20

TPO. DE SATURACION TEORICO = 24, 24 %

T50 = 2 DIAS PP = 1385 mm

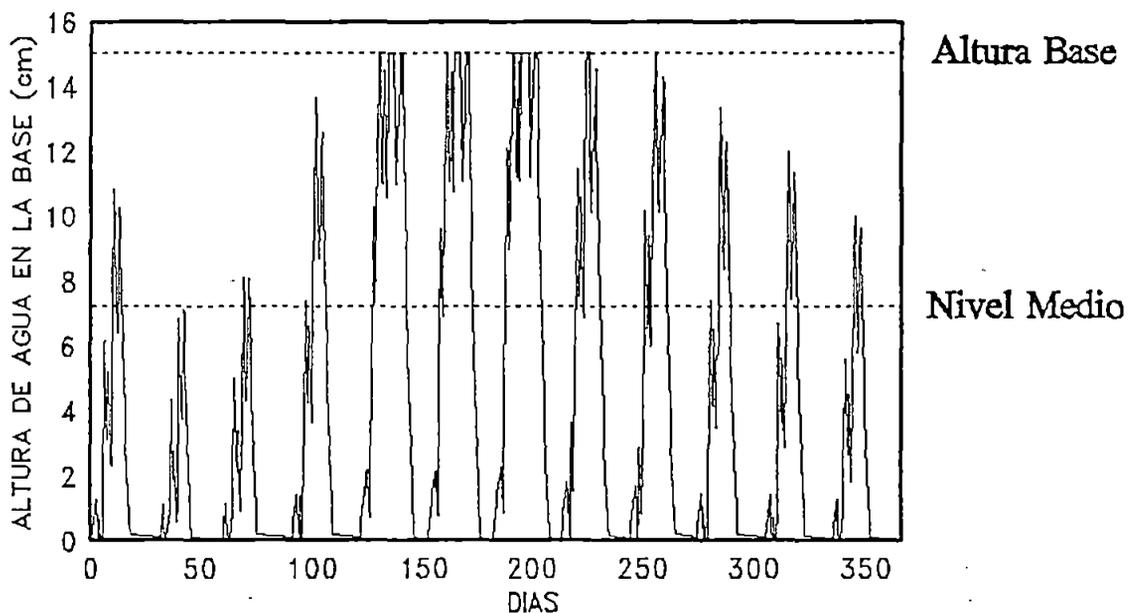


GRAFICO II.21

ESTACION LOS ANGELES - ABRIL 1986

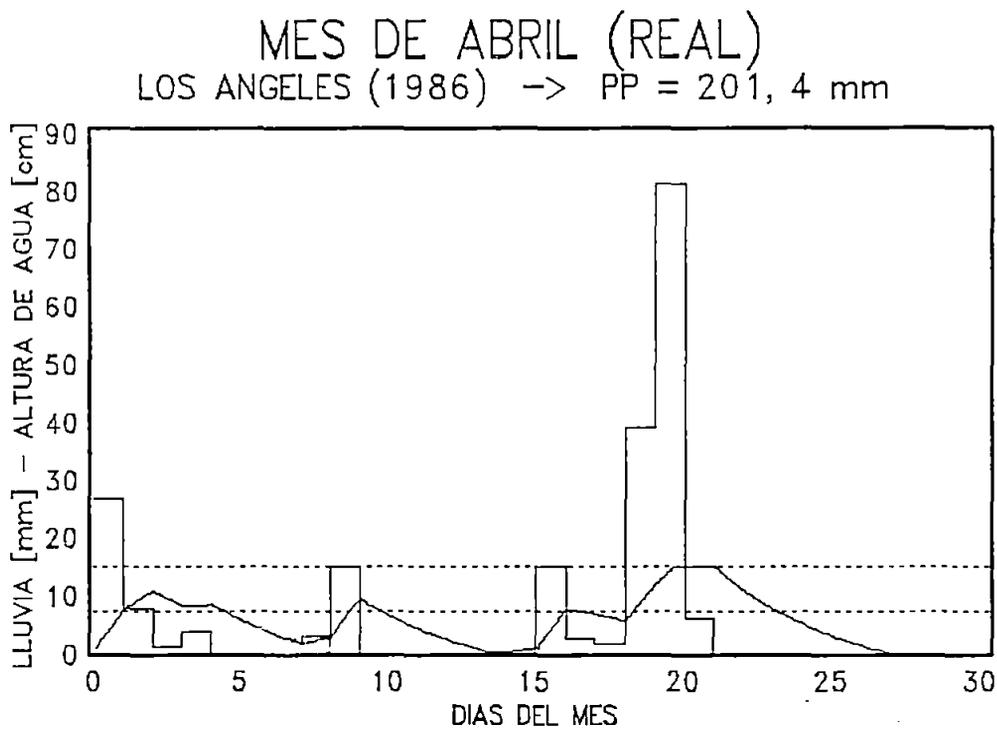


GRAFICO II.22

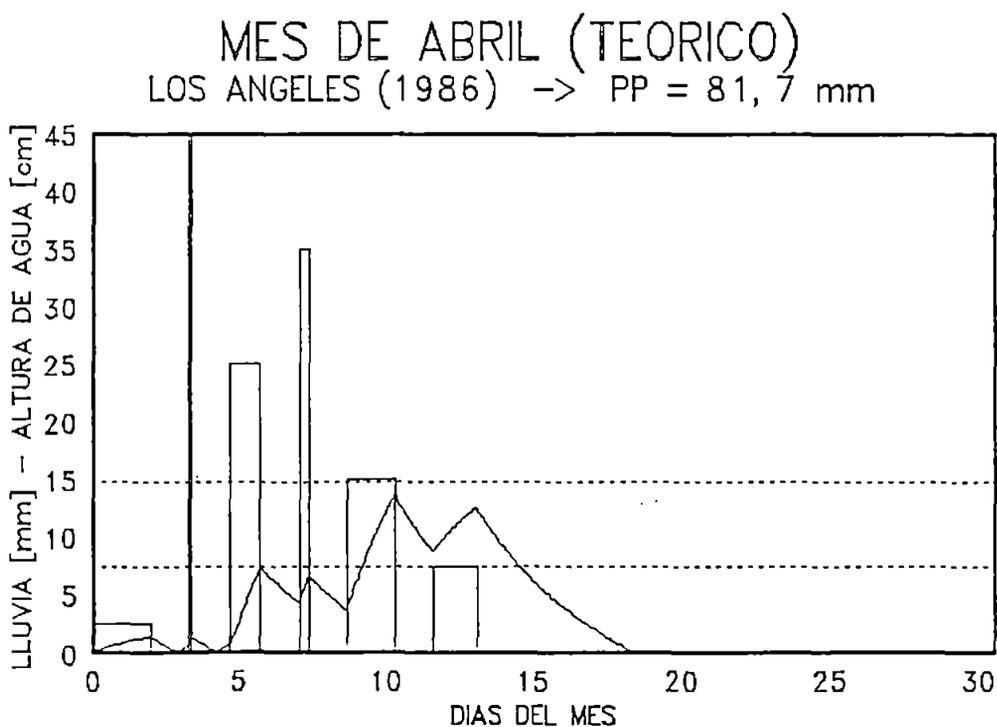


GRAFICO II.23

ANEXO III

INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE DRENAJE EN LOS ESPESORES DE DISEÑO

- Efectos de la variación de la infiltración y permeabilidad de las bases y sub-rasante
- Relación entre el coeficiente de drenaje y los ejes equivalentes admisibles

- **EFFECTOS DE LA VARIACION DE LA INFILTRACION Y PERMEABILIDADES DE LAS BASES Y SUBRASANTES EN LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DRENAJE**

Para analizar el error que se pudiera producir en la estimación del Coeficiente de Drenaje ante variaciones de la infiltración y permeabilidad, se tabularon los valores de dichos coeficientes para distintas Calidades de Drenaje (del Gráfico N° 1 se obtiene la variación en las permeabilidades que permiten diferentes Calidades de Drenaje); diferentes precipitaciones medias anuales y distintos valores de infiltración (Tablas III.1 y III.2).

Del análisis de las Tablas III.1 y III.2 se concluye lo siguiente:

- * La tasa de infiltración y la magnitud de las precipitaciones no tienen ninguna influencia en el Coeficiente de Drenaje, para calidad de drenaje "excelente" (2 horas) y "muy malo" (1 mes).
- * Para drenaje "malo" (1 semana) sólo influyen tasas de infiltración bajas y precipitaciones inferiores a 1.000 mm anuales.
- * Existen fuertes variaciones del coeficiente de drenaje cuando este es "bueno". Resultan determinantes tanto la tasa de infiltración que se adopte como la precipitación anual que caracteriza la zona del proyecto.

COEFICIENTE DE DRENAJE -> m

		TIEMPO DE DRENAJE -> T50															
		2 HORAS				1 DIA				1 SEMANA				1 MES			
		PP [mm]				PP [mm]				PP [mm]				PP [mm]			
		500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
INFILTRACION [mm/dia]	5	1,40	1,40	1,40	1,40	1,35	1,35	1,35	1,35	0,95	0,81	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
	10	1,40	1,40	1,40	1,40	1,34	1,23	1,14	1,10	0,84	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
	15	1,40	1,40	1,40	1,40	1,23	1,12	1,07	1,03	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
	20	1,40	1,40	1,40	1,40	1,19	1,10	1,05	1,01	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
	30	1,40	1,40	1,40	1,40	1,16	1,08	1,03	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60
	45	1,40	1,40	1,40	1,40	1,15	1,08	1,03	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,60	0,60	0,60

NOTA: SE USO LA DISTRIBUCION DE LLUVIAS CORRESPONDIENTE A LAS REGIONES VII, VIII Y IX.

TABLA III.1

ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA PAVIMENTO RIGIDO

COEFICIENTE DE DRENAJE -> Cd

		TIEMPO DE DRENAJE -> T50															
		2 HORAS				1 DIA				1 SEMANA				1 MES			
		PP [mm]				PP [mm]				PP [mm]				PP [mm]			
		500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000	500	1000	1500	2000
INFILTRACION [mm/dia]	5	1,25	1,25	1,25	1,25	1,20	1,20	1,20	1,20	0,98	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	10	1,25	1,25	1,25	1,25	1,20	1,14	1,09	1,07	0,92	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	15	1,25	1,25	1,25	1,25	1,14	1,08	1,05	1,02	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	20	1,25	1,25	1,25	1,25	1,12	1,07	1,03	1,01	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	30	1,25	1,25	1,25	1,25	1,10	1,05	1,02	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80
	45	1,25	1,25	1,25	1,25	1,10	1,05	1,02	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,80	0,80	0,80	0,80

NOTA: SE USO LA DISTRIBUCION DE LLUVIAS CORRESPONDIENTE A LAS REGIONES VII, VIII Y IX.

TABLA III.2

RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE DRENAJE Y LOS EJES EQUIVALENTES ADMISIBLES.

a. Influencia del Parámetro "m_i" en el Diseño (Pavimentos Flexibles)

El coeficiente de drenaje, tal como se define en la Ref. 1, afecta directamente al producto del coeficiente estructural por el espesor de la capa ($a_i * D_i$), de las capas no tratadas, es decir, bases y sub-bases. El método no considera ninguna influencia del drenaje sobre las capas asfálticas.

En el Gráfico III.1 se presenta parametrizando para diversos valores del CBR (MR), la variación del número estructural (SN) requerido según el método en función de los EE solicitantes.

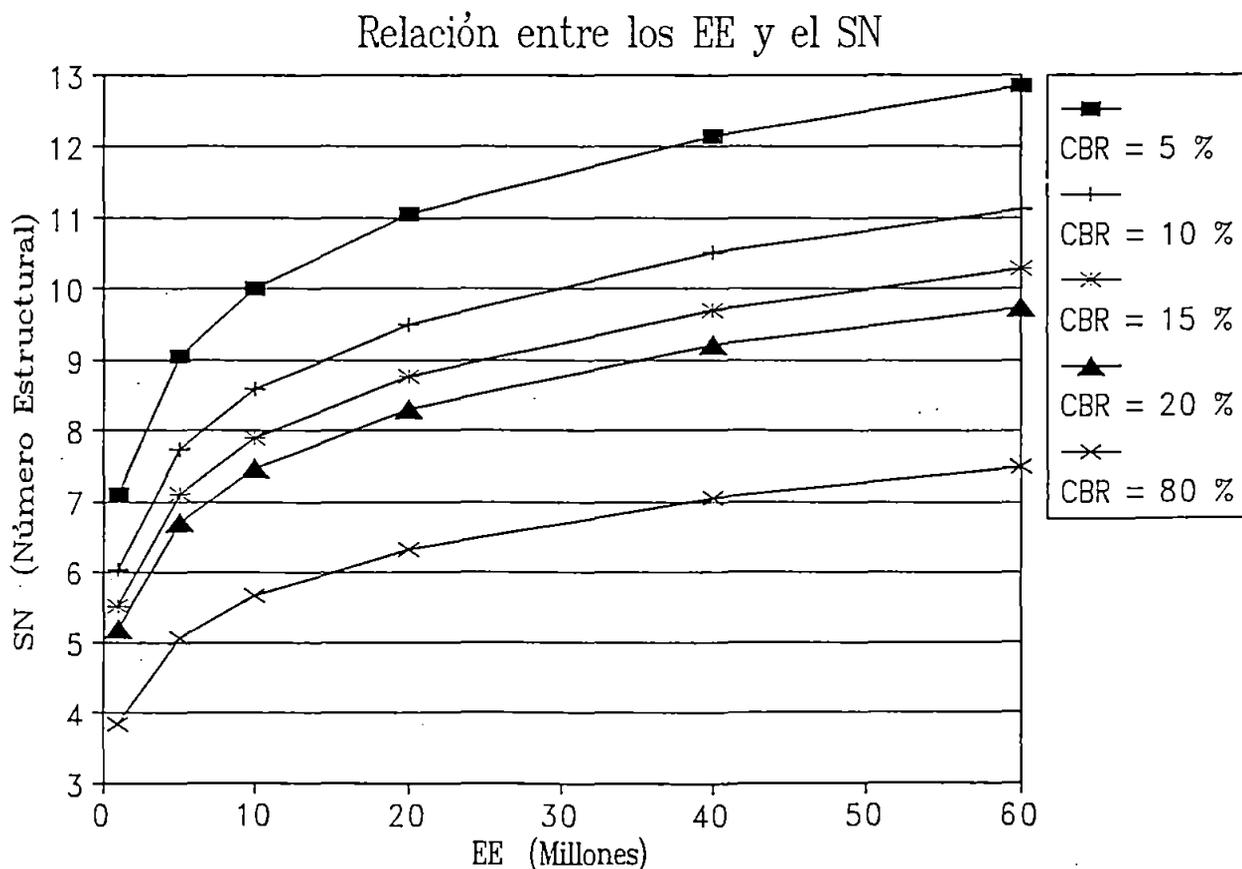


GRAFICO III.1. Número Estructural vs Ejes equivalentes (EE)

Normalmente en el país, se especifica bajo las capas asfálticas, como mínimo, una base con un CBR $> 80\%$. Como el método requiere comprobar que el SN parcial que exista sobre cada capa estructural se ajuste a lo que señala la ecuación, la curva EE vs SN para CBR = 80% es, en la práctica, el aporte mínimo de las capas asfálticas, y sólo el saldo debe ser cubierto por los aportes de bases y sub-bases. Es sobre esa parte del SN donde influye el coeficiente de drenaje, el que de acuerdo con la Tabla N° 2, puede variar entre 0,4 y 1,4, en las condiciones extremas, es decir, 3,5 veces.

En consecuencia:

- * Normalmente el coeficiente de drenaje no tiene influencia en los espesores de las capas asfálticas.
- * Influye fuertemente en los espesores de las bases y sub-bases, pudiendo en los casos extremos, modificar el coeficiente estructural de 1 a 3,5.

b. Influencia del Parámetro " C_d " en el Diseño (Pavimentos Rígidos)

El Coeficiente de Drenaje influye directamente sobre el espesor del hormigón, teniendo influencia en la resistencia a la flexotracción del hormigón.

Como el C_d puede variar entre los valores 0,8 y 1,2, interesa analizar la variación de los EE de diseño en función de la variación del C_d , para distintos espesores típicos de pavimento. Para ello se confeccionó el Gráfico III.2, utilizando un módulo de reacción de la sub-rasante, $k = 50$ MPa/m, resistencia media a la flexotracción de 5 MPa, módulo de elasticidad del hormigón de 28.000 MPa, coeficiente de transmisión de cargas, $J = 3,8$, bermas no pavimentadas y losas de 4,5 m. de largo. Luego, se graficaron las mismas curvas del Gráfico III.2, pero con la variación relativa de los EE en el eje de la ordenada; se obtuvo que la variación relativa de los EE en función del C_d es independiente del espesor del hormigón (Gráfico III.3).

RELACION EE vs. Cd PARA DISTINTOS ESPESORES DE PAVIMENTO

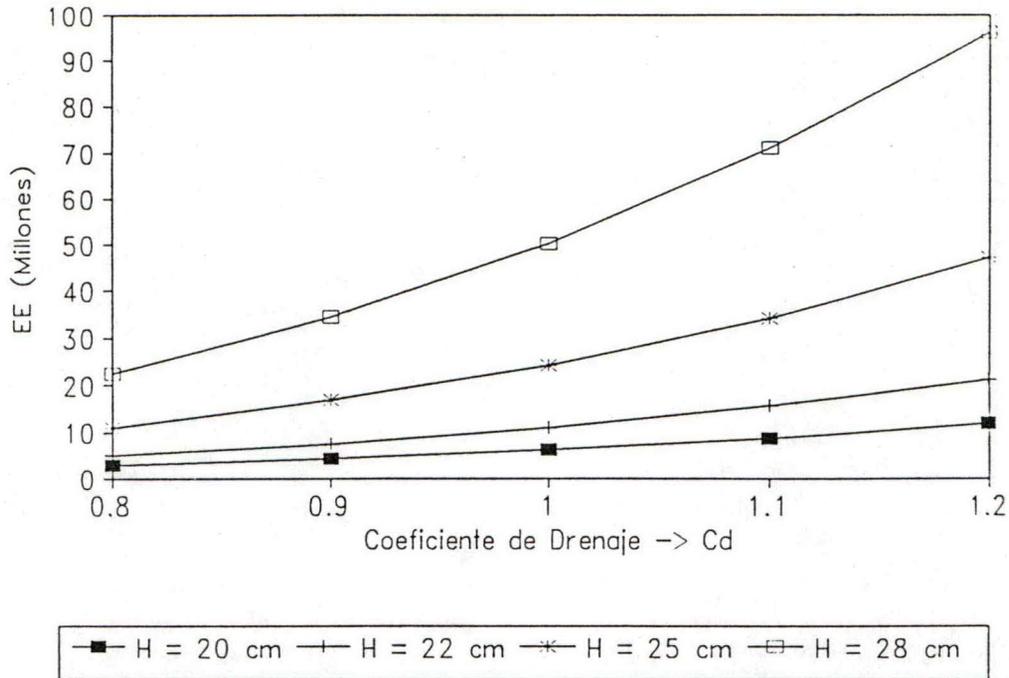


GRAFICO III.2

EFECTO DE LA VARIACION DEL Cd EN LOS EJES EQUIVALENTES ADMISIBLES

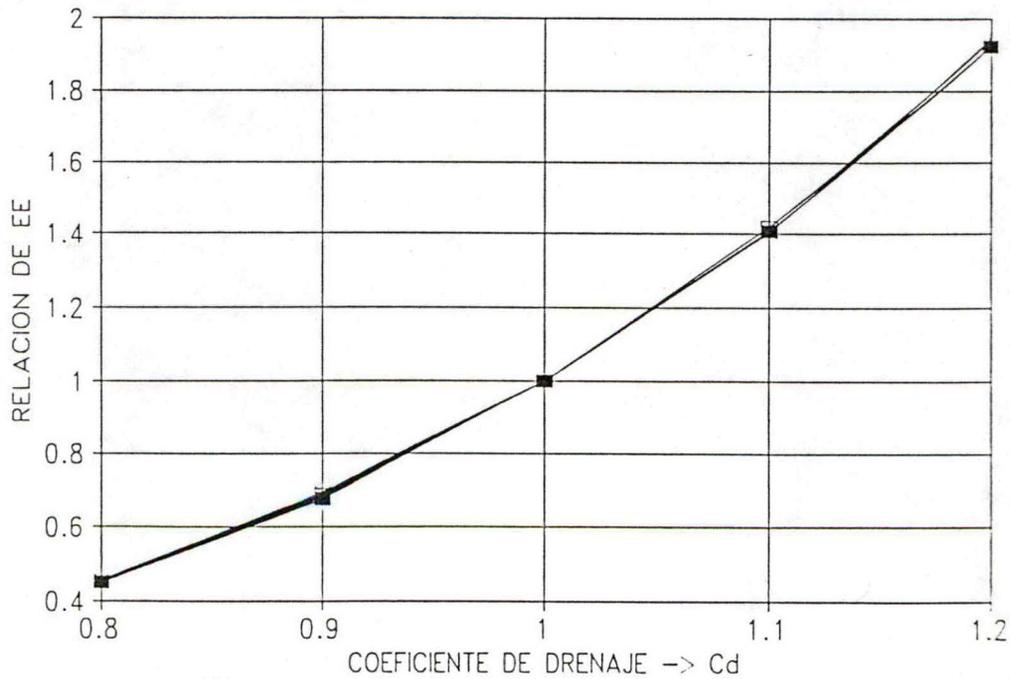


GRAFICO III.3

REFERENCIAS

- 1.- **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures** (1993). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- 2.- **Curso Internacional 'Diseño de Pavimentos Según Método AASHTO, 1993'**. Federal Highway Administration - Instituto Panamericano de Carreteras.
- 3.- **García, Amalia (1986). Estudio de la Infiltración de Aguas-Lluvias en una Estructura de Pavimento.** Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil.
- 4.- **Juárez B. y A. Rico (1965). Mecánica de Suelos.** México.
- 5.- **Bear, J. (1979). Hydraulics of Groundwater.** Mc Graw Hill.
- 6.- **Symposium on Permeability of Soils (1954).** ASTM Special Technical Publication, 163.
- 7.- **Faraggi, V. y J. Quezada (1991). Drenaje de las Capas No Tratadas en las Calzadas Asfálticas. 6º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.** Santiago, Chile.
- 8.- **Mc Enroe, B. (1994). Drainability of Granular Bases for Highway Pavements.** Transportation Research Board.
- 9.- **Especificaciones y Métodos de Muestreo y Ensaye de la Dirección de Vialidad (1986).** Santiago, Chile.
- 10.- **Balance Hídrico de Chile (1987).** MOP - DGA. Santiago, Chile.
- 11.- **Seeds, S. y G. Hicks (1991). Development of Drainage Coefficientts for the 1986 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.** Transportation Research Record, 1307, pp 256-267.